

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
(Direktor: Professor Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende Untersuchungen
über die Wiedergabegenauigkeit
dentaler Abform- und Modellmaterialien

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

den Medizinischen Fachbereichen
vorgelegt von

Peter Römeth
aus Bergen auf Rügen

Mainz 1974

1975

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
(Direktor: Professor Dr. K. Fuhr)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende Untersuchungen
über die Wiedergabegenauigkeit
dentaler Abform- und Modellmaterialien

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

den Medizinischen Fachbereichen
vorgelegt von

Peter Römeth
aus Bergen auf Rügen

Mainz 1974

Fachbereichsdekan: Professor Dr. Dr. W. Ketterl

Referent : Professor Dr. K. Fuhr

Korreferent : Professor Dr. H. Marx



Tag der mündlichen Prüfung: 26. 2. 1975

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
1. Einleitung	1
2. Oberflächenbegriffe	2
2.1. Oberflächen	2
2.2. Rauheit	2
2.3. Erfassung der Oberfläche	4
2.4. Maße	4
3. Einführung in die Aufgabe der Arbeit	7
4. Oberflächen präparierter Zähne und ihre Bedeutung für die Modellgewinnung	8
5. Literatur über Materialien	11
5.1. Listen der untersuchten Materialien	11
5.2. Abformmaterialien	12
5.3. Modellmaterialien	17
6. Literatur über Methodik	25
6.1. Oberflächenmeßgeräte	25
6.2. Arbeitsweise des verwendeten Meßgerätes	26
6.3. Prüfkörper	27
7. Eigene Untersuchungen	29
7.1. Prüfkörper	29
7.2. Anfertigen der Prüflinge	34
7.3. Oberflächenmessung	36
7.4. Ergebnisse	40
8. Diskussion	73
8.1. Besprechung der eigenen Ergebnisse	73
8.2. Kritik der eigenen Methode	76
8.3. Schlußbetrachtung	78
9. Zusammenfassung	80
10. Literaturverzeichnis	81

1. Einleitung:

Das Herstellen von festsitzendem Zahnersatz ist an Modelle der beschliffenen Zähne gebunden. Dabei muß das Arbeitsmodell folgende Forderungen erfüllen, die sich aus seiner Funktion ergeben: einerseits sollen Härte, Bruch-, Kanten- und Abriebfestigkeit den mechanischen Beanspruchungen während der labortechnischen Arbeitsgänge genügen, andererseits sollen die klinischen Verhältnisse so genau reproduziert werden, daß auf dem Modell hergestellte Kronen und Brücken mit der Mundsituation übereinstimmen.

Im einzelnen sollen die Modelle der präparierten Zähne folgendes wiedergeben:

1. ihre räumliche Beziehung zu Nachbarzähnen
und angrenzender Schleimhaut,
2. ihre Form,
3. ihre Oberflächengestalt.

Den Grad der Wiedergabegenauigkeit der Modelle bestimmen entscheidend das Original, die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Abform- und Modellmaterialien, die Methoden der Abformung und Modellherstellung und die Verarbeitung der Materialien.

Ziel der Arbeit ist eine vergleichende Untersuchung über die Reproduktion der Oberflächengestalt eines präparierten Zahnstumpfes durch verschiedene Abform- und Modellmaterialien. Das Herstellen eines Prüfkörpers in Form eines Stumpfes aus natürlicher Zahnhartsubstanz mit Hilfe zahnärztlicher Präparationsinstrumente und die Anlehnung an das in der Zahnheilkunde verwendete Ring-Abdruck-Verfahren ermöglichten wirklichkeitsnahe Versuche.

2. Oberflächenbegriffe:

Begriffe für die Oberflächengestalt, den Oberflächencharakter und die Erfassung der Gestaltabweichungen sind in den Normen DIN 4760 bis 4762 veröffentlicht worden. Sie sollen die Verständigung erleichtern. Im folgenden wird auf diese Definitionen eingegangen, soweit sie im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit von Bedeutung sind.

2.1. Oberflächen:

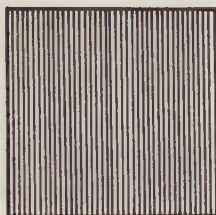
Der Begriff Oberflächen wird unterteilt. So ist die "wirkliche Oberfläche" definiert als "Begrenzung eines festen Körpers, durch die dieser vom umgebenden Raum getrennt ist". Ihre meßtechnisch erfaßten Abbilder heißen "Istoberflächen". Sie gleichen der wirklichen Oberfläche nur annähernd, weil sie vom Meßverfahren abhängen. Die "geometrisch-ideale Oberfläche" wird beschrieben als "die Begrenzung des geometrisch vollkommen gedachten Körpers". Über den Unterschied der Istoberfläche zur geometrisch idealen Oberfläche gibt - differenziert in Ordnungen - die "Gestaltabweichung" Auskunft: die "Formabweichung" bildet die erste Ordnung, die "Welligkeit" die zweite, die "Rauheit" die dritte bis fünfte. Die meisten Istoberflächen resultieren aus Überlagerungen der einzelnen Ordnungen.

2.2. Rauheit:

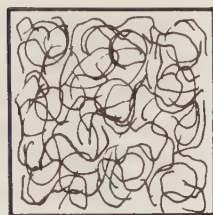
Die bei der Bearbeitung eines Werkstückes verursachte Rauheit wird durch den Oberflächencharakter näher beschrieben. In der entsprechenden Norm sind als Begriffe die Adjektive "narbig" und "rillig" vorgesehen. Ein narbiger Oberflächencharakter kann "Mulden", "Poren", "Kuppen" und "Schuppen" aufweisen, ein rilliger ist je nach Verlauf der Bearbeitungsspuren "geordnet-rillig" bzw. "ungeordnet-rillig" (Abb. 1 und 2). Nach der Betrachtungsweise unterscheidet man eine "Querrauheit" von einer "Längsrauheit". Diese Bezeichnungen beziehen sich auf eine "Rillenschar", während das "Rillenprofil" den Querschnitt einer Einzelrille abbildet.



a)



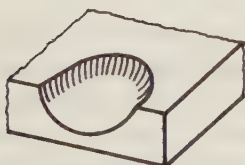
b)



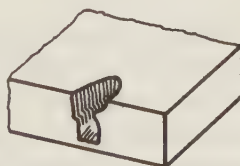
c)

Abb. 1: Schematische Darstellung des Oberflächencharakters,
a) narbig, b) geordnet-rillig, c) ungeordnet-rillig
(nach DIN 4761).

Abb. 2: Schematische Darstellung der Oberflächenstruktur,
a) Mulde, b) Pore, c) Kuppe, d) Schuppe (nach DIN 4761).



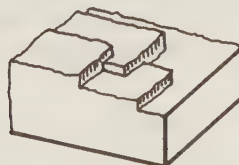
a)



b)



c)



d)

2.3. Erfassung der Oberfläche:

Die in der Technik gebräuchlichen Meßverfahren stellen meistens nicht die Oberflächen in ihrer Gesamtheit dar, sondern sie beschränken sich auf Oberflächenausschnitte, indem sogenannte "Profilschnitte" erfaßt werden. Profilschnitte sind mechanisch gelegte oder gedachte "Senkrechtschnitte" sowie "Schrägschnitte". Zur Auswertung eines Profilschnittes werden die "Prüflänge l_g " und eine Bezugsstrecke benötigt; im Falle der Rauheitsermittlung die "Rauheitsbezugsstrecke l " (Abb. 3). Sie werden in Millimeter gemessen. Außerdem werden folgende Profile herangezogen:

1. "Geometrisch-ideales Profil",
2. "Istprofil",
3. "Bezugsprofil",
4. "Mittleres Profil",
5. "Grundprofil".

Die beiden ersteren gehören zu den entsprechenden Oberflächen. Auf das dritte wird die Gestaltabweichung bezogen. Es kann drei verschiedene Formen annehmen, die sich entweder nach dem geometrisch-idealen oder dem Istprofil richten. Durch Verschieben des Bezugsprofils senkrecht zum geometrisch-idealen Profil erhält man das mittlere Profil und das Grundprofil. Das mittlere Profil ist so durch das Istprofil gelegt, daß die Summen der oberhalb und unterhalb der Linie gebildeten Flächen gleich sind. Das Grundprofil verläuft durch den Punkt des Istprofils, der vom Bezugsprofil am weitesten entfernt ist (Abb. 3).

2.4. Maße:

Die Bestimmung der Rauheitsmaße erfolgt innerhalb der Bezugsstrecke. In diesem Rahmen interessieren zwei "Senkrechtmäße" und

ihre Definitionen:

1. "Rauhtiefe R_t " als "Abstand des Grundprofils vom Bezugsprofil" (Abb. 3),
2. "Glättungstiefe R_p " als "Abstand des mittleren Profils vom Bezugsprofil" (Abb. 3).

Ihre Werte werden in Mikrometer ($1\mu = 0,001 \text{ mm}$) angegeben. An dieser Stelle ist der Hinweis von WEIKART (30) zu beachten, daß die Rauhtiefe nur wenig Auskunft über die Oberflächengestalt gibt, mehr dagegen die Glättungstiefe. Die Abbildung 4 zeigt bei gleicher Rauhtiefe stark abweichende Rillenprofile.

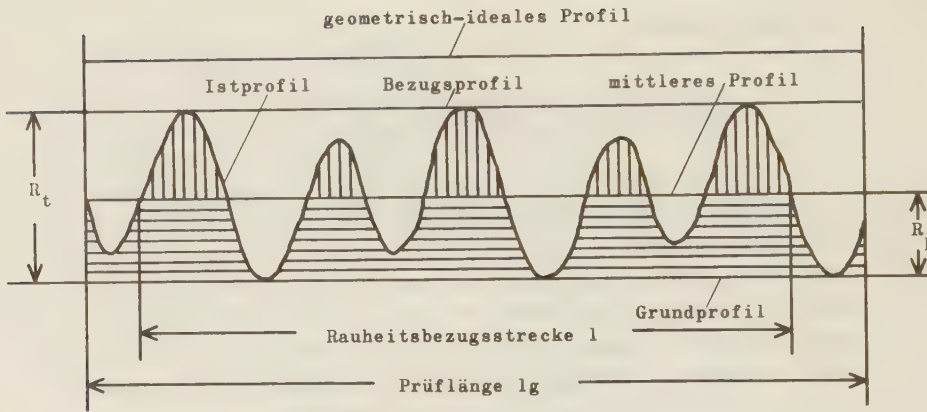


Abb. 3: Lage des geometrisch-idealen Profils, des Istprofils, des Bezugsprofils, des mittleren Profils, des Grundprofils, der Prüflänge l_g , der Rauheitsbezugsstrecke l , der Rauhtiefe R_t und der Glättungstiefe R_p (nach DIN 4762).

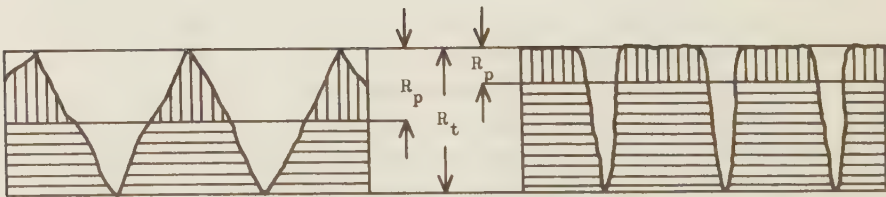


Abb. 4: Unterschiedliche Glättungstiefe R_p bei gleicher Rauhtiefe R_t (nach WEIKART (30)).

3. Einführung in die Aufgabe der Arbeit:

Das Reproduktionsvermögen der Abform- und Modellmaterialien wurde in zahlreichen Arbeiten untersucht (u.a. von FÜRER (6), FINGER (5), MEYER und UHLIG (19), PANTKE und HERRNSDORF (23), REHBERG (24), RITZE (26) und WILHELM (31)). Teils beschränkten sich die Experimente auf das Abformmaterial, teils auf das Modellmaterial, zum Teil wurden sie an Kombinationen beider Werkstoffe vorgenommen.

Die Bedeutung des Zusammenwirkens beider Materialien für das Herstellen eines Arbeitsmodells heben MARXKORS (16) und SCHWINDLING (28) hervor. Entsprechend kann eine Aussage über die Brauchbarkeit der Materialien unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächenwiedergabe nur dann aufschlußreich sein, wenn die Größen Original, Abdruck und Modell methodisch als Ganzes in die Prüfung eingehen. Die Oberfläche des Originals wird auf dem "Umweg" über den Abdruck auf das Modell übertragen (WILHELM) (31)).

Ein raues Original stellt höhere Anforderungen an Abform- und Modellmassen als ein glattes. Das Modell kann bestenfalls nur das reproduzieren, was der Abdruck festgehalten hat. Hier können sich durch unzureichende Abformung oder nachträgliche Veränderungen des Abdrucks in der Zeit bis zur Modellherstellung Fehler einschleichen.

Darüber hinaus müssen beide Werkstoffe sich "vertragen"; ein Ankleben des Modells am Abdruck bzw. umgekehrt verursacht durch chemische Reaktionen und/oder physikalische Kräfte kann sich nachteilig auf das Ergebnis auswirken. Die o.a. Gesichtspunkte werden in den ADA-Spezifikationen berücksichtigt, die Prüfungsmethoden für bestimmte Abformmaterialien enthalten. So wird empfohlen, die Reproduktion einer genormten Rille eines Testblocks und die Verträglichkeit mit Gips als Modellmaterial zu untersuchen. Der Querschnitt der Rille entspricht einem gleichseitigen Dreieck mit einer Seitenlänge von 0,025 mm.

4. Oberflächen präparierter Zähne und ihre Bedeutung für die Modellgewinnung:

Als Maß für die Rauheit der Zahnoberflächen, die mit umlaufenden Instrumenten bearbeitet wurden, dient in der zahnärztlichen Literatur die Rauhtiefe. Es werden eine Anzahl von Faktoren genannt, die die Größe der Rauhtiefe beeinflussen: der Schleifkörper, seine Oberflächengestalt, seine Umdrehungsgeschwindigkeit als Produkt aus Umfang und Drehzahl, das Antriebsaggregat, der Druck, die Schleifrichtung, die Trocken- oder Naßpräparation und die Härte des Zahnmaterials (3, 8, 9, 10, 15, 21, 22).

Nach Präparationen mit Diamantschleifern im höchsten Drehzahlbereich ermittelten GÄRTNER (10) und FUHR (8) Rauhtiefen bis zu 0,070 mm bzw. 0,090 mm. Eine Glättung der Oberfläche wird gefordert (7, 21, 22). Mit Sandpapierscheiben, Kaborundumsteinchen und Finierern läßt sich die Rauheit auf Rauhtiefen bis auf Werte unter 0,025 mm reduzieren.

Neben der Rauhtiefe ist der Verlauf der Bearbeitungsspuren von Bedeutung. Es wäre sowohl für das Befestigen einer Krone mit Zement als auch für die Abformung nicht gleichgültig, ob bezüglich der Stumpfachse eine Längsrauheit oder eine Querrauheit vorläge, weil die Rillen dieser im Gegensatz zu den Rillen jener als untersichgehende Stellen oder Unterschnitte anzusehen wären. Mit beiden Extremfällen ist jedoch bei den Präparationstechniken nicht zu rechnen. Bei Verwendung länglicher Schleifkörper, die zirkulär um den Zahn geführt werden, kann man einen mehr geordnet-rilligen Oberflächencharakter erwarten mit überwiegend untersichgehenden Stellen. Dagegen erzeugt ein umgekehrter, an der Stirnfläche belegter Kegel eher ungeordnet-rillige Schleifspuren.

Die Frage nach der zweckmäßigsten Größenordnung der Rauhtiefe ist nicht eindeutig beantwortet. Auf der einen Seite soll ein gewisser Wert nicht unterschritten werden, damit die Rauheit beim

Einsetzen einer Krone dem Befestigungszement genügend Retention bietet. Die Körner des Zementpulvers müssen in den Rillen Platz finden, um eine mechanische Verankerung zwischen Stumpf und Krone bewirken zu können (16). Hier spielt die Korngröße und Filmdicke des Zements eine Rolle. GODT (11) nennt für die maximale Korngröße einiger Phosphatzemente Werte zwischen 0,025 bis 0,028 mm, für die Filmdicke in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Pulver zu Flüssigkeit und Druck Werte zwischen 0,032 mm und 0,008 mm.

Auf der anderen Seite ergeben sich aus der Rauheit Probleme für die Abformung. Die Reproduktion der Oberflächengestalt durch das Abformmaterial setzt voraus, daß dieses in alle Rillen hineinfließt und die beim Entfernen eines Abdruckes durch Unterschnitte verursachten Deformationen aufhebt. Schwer fließende Abformmaterialien und solche, die aus dem plastischen Zustand in den starren übergehen, lassen andere Ergebnisse erwarten als leicht fließende und solche, die einen elastischen Zustand annehmen. Außerdem wird die Korngröße der Füll- und Farbstoffe die detailgetreue Wiedergabe der Rauheit beeinflussen.

MARXKORS (16) schließt die Möglichkeit nicht aus, daß die unterschiedlichen Stellen die thermische Kontraktion der Massen behindern, deren Verarbeitungstemperatur höher ist als die Mundtemperatur.

Das Modellmaterial und die Modellherstellung selbst sind maßgeblich daran beteiligt, was letztlich von der Oberflächengestalt des Originals auf dem Arbeitsstumpf erscheint. Die Korngröße ist genauso entscheidend wie das Fließvermögen. Werkstoffe, die unter Druck in den Abdruck gestopft werden müssen, können elastische Abformmassen deformieren (16). Die gleiche Wirkung können expandierende oder kontrahierende Modellmaterialien hervorrufen.

Das Entfernen des Modells aus starren Abdrücken kann problematisch

sein, denn die Unterschnitte des Kronenstumpfes stellen im Abdrucknegativ Erhöhungen dar, die sich mit dem Modellstumpf verzahnen.

In Anlehnung an WILHELM (31) kann man abschließend sagen, daß die auf ein Modell übertragene Oberflächengestalt eines beschliffenen Zahnes abhängig ist von:

1. der bearbeitungsbedingten Rauheit
des Originals,
2. der material- und verarbeitungsbedingten
Rauheit der Abform- und Modellmassen.

5. Literatur über Materialien:

5.1. Listen der untersuchten Materialien:

Die Fabrikate der geprüften Materialien sind in nachstehenden Tabellen alphabetisch aufgeführt.

5.1.1. Abformmaterialien:

Fabrikat	Hersteller
Impregum	Espe, Seefeld
Antopren blau	Bayer, Leverkusen
Antygen	Bayer, Leverkusen

5.1.2. Modellmaterialien:

Fabrikat	Hersteller
De Trey's Modell-Zement	De Trey GmbH, Waldshut
Diemet	Erkodent, Pfalzgrafenweiler
Kerr Vel-Mix Stone	Kerr, USA
Kupfergalvanoplastik	Frankonia Dental, Erlangen

5.2. Abformmaterialien:

Die zahnärztlichen Abformmaterialien werden von SCHWINDLING (27) eingeteilt in:

1. irreversibel starre,
2. reversibel starre, thermoplastische (Xantysten),
3. reversibel elastische, thermoplastische,
4. irreversibel elastische.

Mit dieser Einteilung sagt er bereits über die Eigenschaften und Verarbeitung der Materialien aus, daß sie teils durch Erwärmung den plastischen Ausgangszustand annehmen, in welchen Endzustand sie übergehen und ob die Zustandsänderung umkehrbar ist. Die vierte Gruppe wird unterteilt in:

1. Alginat,
2. Polysulfide,
3. Silikone (Xantopren blau),
4. Polyäther (Impregum).

Die drei letztgenannten werden zur Gruppe der elastomeren Abformmaterialien zusammengefaßt.

In dem Schema sind die getesteten Fabrikate in Klammern an der entsprechenden Stelle zugeordnet.

In der Gruppe der reversibel starren, thermoplastischen Abformmaterialien rechnet man Xantysten zu den Kompositionsmassen. Diese enthalten natürliche und synthetische Harze und Wachse, Weichmacher sowie Füll- und Farbstoffe (REHBERG) (25)). Ausführliche Angaben über die Bestandteile finden sich bei SCHWINDLING (27) und WEIKART (30).

Durch Erwärmung auf ca. 60°C im Wasserbad oder über der offenen Flamme werden sie plastisch. Die Abformung wird in einem niedrigeren Temperaturbereich vorgenommen, jedoch soll er oberhalb 43°C liegen (25). Bei Mund- und Zimmertemperatur sind die Materialien starr. Der starre Zustand erlaubt es nicht, untersichgehende Stellen abzuformen. Beim Abziehen wird der Abdruck an den entsprechenden Partien verfälscht. Da auf diese Weise Präparationsfehler erkannt werden können, wird das auch als Vorteil gewertet (29).

Impregum auf Polyätherbasis und Xantopren blau auf Silikonbasis gehören zu den elastomeren Massen, mit denen sich Unterschnitte abformen lassen. Sie haben gemeinsam, daß sie zur Verarbeitung aus zwei Komponenten angemischt werden, dem Basismaterial und dem Material, das den Katalysator enthält. Sie sollen verschiedenfarbig sein (1), damit beim Anmischen eine homogene Paste hergestellt werden kann. Eine inhomogene Mischung kann eine ungenaue Wiedergabe herbeiführen, wenn beim Abnehmen des Abdrucks noch plastische Anteile am Stumpf haften bleiben; im Abdruck entstehen dann Fehlstellen. Die Mischung bindet zu einer elastischen, gummiartigen Masse ab.

Die chemischen Grundsubstanzen und Abbindevorgänge sind in der zahnärztlichen Literatur hinreichend beschrieben (2, 16, 25, 27, 30). Im Rahmen der Aufgabenstellung dieser Untersuchung mögen folgende Hinweise genügen:

Nach REHBERG (25) setzen sich die Komponenten der Silikon-Abformmassen zusammen aus einer Basispaste (Polysiloxane, Paraffinöl oder andere Weichmacher, Füll- und Farbstoffe) und einem Härter (Zinkoktoat oder Dibutyldizinnlaurat, Polyäthyl- oder Polymethylsilikat).

Die Polyäther-Abformmasse enthält eine Basispaste (Polyäther, Farb- und Füllstoffe, Weichmacher) und eine Katalysatorpaste

(Sulfonsäure-ester, Farb- und Füllstoffe, Weichmacher) (25).

Die Grundsubstanzen der Basispasten sind Molekülketten. Der Katalysator bewirkt bei den Massen auf Silikonbasis eine Verlängerung, Verzweigung und Vernetzung, bei dem Polyäther eine Vernetzung der endständigen Gruppen (2, 16, 25, 27). Dieser chemische Vorgang führt zur Umwandlung des plastischen Zustandes in den elastischen.

Von verschiedenen Autoren wird darauf hingewiesen, daß der Abbindevorgang bereits während des Anmischens einsetzt (4, 16, 25). Die Verarbeitungsbreite ist wegen der beschleunigt fortschreitenden Vernetzung relativ kurz. Je später die Abformung vorgenommen wird, desto größer ist die Möglichkeit, schon entstandene elastische Anteile der Masse zu verformen. Nach Entfernen des Abdruckes entspannt sich das Material. Die Folge ist ein verkleinerter Abdruckhohlraum (4, 16).

Abdrücke mit Materialien auf Silikon- und Polyätherbasis werden beim Abziehen elastisch verformt. BUTZ (2) unterscheidet Druck- und Zugbeanspruchungen. Als Ursache nennt er die Überwindung des entstehenden Unterdruckes und untersichgehende Stellen. Die Verformung wird nicht vollständig aufgehoben. Bei kurzzeitiger Belastung mit einem kleinen Gewicht ergibt sich die sogenannte "bleibende Deformation", bei länger andauernder Belastung mit einem größeren Gewicht der sogenannte "Flow" (1, 2). Er stellt eine Überlegenheit der Polyätherabformmasse gegenüber den geprüften Silikonabformmassen fest (darunter auch Xantopren blau). Weiterhin weist er nach, daß eine Abhängigkeit zwischen der bleibenden Deformation und der Härtedosierung, dem Zeitpunkt der Abdruckentnahme sowie der Dauer und dem Ausmaß der Deformation besteht. Mit dem Nachweis des Einflusses der Verformungsdauer bestätigt er den Verarbeitungshinweis, einen Abdruck möglichst schnell und ruckartig abziehen (30).

Die Abformmaterialien unterliegen beim Übergang des Aggregatzustandes einer Volumenänderung. REHBERG (25) führt thermische Einflüsse und/oder chemische Reaktionen als Ursachen an. Da die Materialien mit den Abformmassenträgern durch eigene Klebkraft, Retentionen und Adhäsivmittel fest verbunden sind, verläuft die Volumenänderung nicht behinderungsfrei (MARXKORS (16)). Die Dimensionsänderung steht im Verhältnis zur Schichtdicke des Stoffes. Es wird von Untersuchungen berichtet, die ergeben, daß eine Behinderung beim Verfestigen und unterschiedliche Schichtdicken den Abdruck verzerren (16, 25). MEINERS (17) erläutert diese Vorgänge anhand grundsätzlicher Betrachtungen. Es versteht sich, daß eine Verzerrung der Form mit einer veränderten Oberflächengestalt einhergeht.

Bei der Abkühlung von Mundtemperatur auf Zimmertemperatur kontrahieren alle Materialien. Das Temperaturgefälle der thermoplastischen Massen ist gemäß der Verarbeitungsweise noch höher anzusetzen. Für Xantynen liegen Ergebnisse in einer Arbeit von MEISNER (18) vor: Modelle, die nach Xantynen-Abdrücken mit verschiedenen Modellmaterialien hergestellt wurden, hatten fast alle einen größeren Durchmesser als der Prüfkörper.

Im Falle der elastomeren Abformmassen treten neben der thermischen Kontraktion Volumenabweichungen infolge der Abbindevorgänge auf. Wie Messungen von HOFMANN (12) und SCHWINDLING (29) zeigen, finden noch nach 24 Stunden Veränderungen statt, die sich nach 48 Stunden einem Endwert nähern. Xantopren blau schrumpft kontinuierlich wie alle geprüften Silikone. Impregum kontrahiert zunächst und expandiert anschließend wieder; insgesamt überwiegt die Schrumpfungstendenz. Mit dem Zeitpunkt der Modellherstellung eröffnet sich folglich eine weitere Möglichkeit, die Wiedergabege nauigkeit der Modelle zu beeinflussen.

Wenn von den Abformmaterialien eine möglichst detaillierte Wiedergabe der Oberflächengestalt verlangt wird, müssen sie bei der

Abformung alle Rauheiten des Originals ausfüllen. Vergleicht man Angaben über die Komponenten, die für die Reproduktion von besonderer Bedeutung sind, so kann man zusammenfassend folgende aufzählen (24, 25, 30):

1. das Fließvermögen und die Konsistenz,
2. die Korngröße der Bestandteile,
3. die Druckanwendung während der Abformung.

Das Fließvermögen und die Konsistenz sind bei allen Abdruckstoffen von Menge und Art der Bestandteile und der Verarbeitungstemperatur abhängig. Diese Faktoren kommen bei den einzelnen Materialien unterschiedlich zur Geltung. Die bei der Mundtemperatur starren Kompositionsmassen sollen bei Erwärmung um wenige Grade plastisch sein. Die Verarbeitungstemperatur spielt also bei den thermoplastischen Massen eine ausschlaggebende Rolle, dagegen bei den kaltplastischen Elastomeren eine untergeordnete. Hier tritt der Einfluß der Menge und Art der Bestandteile stärker hervor. Am Beispiel der Massen auf Silikonbasis wird das besonders deutlich. Der Anteil sowohl der Polysiloxane als auch der Füll- und Farbstoffe an der Basispaste kann um 70% differieren (25); entsprechend sind die Konsistenzunterschiede sehr weitreichend. Der Hersteller der Xantopren-Abformmassen unterscheidet für seine Produkte eine "knetbare", eine "weiche" und eine "dünnfließende" Konsistenz. Xantopren blau ist das dünnflüssige Material. Die Konsistenz von Impregum kann mit einem Verdünner variiert werden. In unverdünnter Form müßte man sie gemäß o.a. Einteilung unter weich einstufen.

Eine Kongruenz der Oberfläche des Abdrucknegativs mit der des abgeformten Positivs wird nur dann erzielt, wenn Form und Korngröße der festen Bestandteile eine Anlagerung der Abformmassen an jedem Punkt der Zahnoberfläche zulassen. Ein feinkörniges Abformmaterial wird dazu besser geeignet sein als ein grobkörniges.

Hier sind in erster Linie die Füll- und Farbstoffe angesprochen. In den Kompositionsmassen ist z.B. Talkum, ein Magnesiumsilikat, enthalten, das mit mehr als 50% an der Zusammensetzung beteiligt sein kann (27).

Der aufzuwendende Druck bei der Abformung richtet sich nach dem Fließvermögen und der Konsistenz der Abdruckstoffe. Eine leichtfließende Masse dringt unter geringerem Druck in die Feinheiten einer präparierten Zahnoberfläche vor als eine schwerfließende. Je nach Ausweichmöglichkeit für das überschüssige Material wird entweder durch zu schnelles Abfließen ein Druckverlust oder durch zu langsames Abfließen eine überhöhte Kompression erreicht. Beides, nämlich ein zu geringer Druck in der Anfangsphase der Abformung als auch ein Andauern des Drucks während der gesamten Erstarrungs- bzw. Abbindephase, kann eine exakte Oberflächenreproduktion beeinträchtigen (25).

Die Eigenschaft der Silikon- und Kompositionsmassen, im Gegensatz zu anderen Abformmaterialien keine Flüssigkeit aufzunehmen, wird in zahnärztlichen Veröffentlichungen mehrfach erwähnt (19, 24, 30). Damit wird der Verarbeitungshinweis begründet, abzuformende Zahnstümpfe zu trocknen, weil Speicheleinschlüsse Fehlstellen im Abdruck hinterlassen.

5.3. Modellmaterialien:

Die in der zahnärztlichen Technik verwendeten Modellmaterialien gehören sehr unterschiedlichen Werkstoffgruppen an. Ausgehend vom mineralischen, metallischen oder chemischen Charakter der Stoffe zählt SCHWINDLING (28) fünf Gruppen auf (in Klammern die Zuordnung der untersuchten Materialien):

1. Hartgipse (Kerr Vel-Mix Stone),
2. Modellzemente (De Trey's Modell-Zement),

3. Metallische Modellwerkstoffe,
4. Kunststoffe (Diemet),
5. Keramische Massen.

Er untergliedert die Gruppe der metallischen Werkstoffe in:

1. Leichtschmelzende Legierungen,
2. Amalgam,
3. Spence-Masse,
4. Galvanoplastische Modellherstellung (Gerät
von FD Frankonia Dental),
5. Metallspritzverfahren.

Die Galvanoplastik erfordert einen verhältnismäßig großen Zeit- und Arbeitsaufwand. Es wird zunächst die Hohlform des Abdruckes mit einem Metallniederschlag aus Kupfer, Silber oder Nickel beschichtet. Anschließend wird zur Stabilisierung der entstandenen Metallform das verbleibende Lumen mit einem geeigneten Modellmaterial aufgefüllt. Hinsichtlich der Reproduktion und der Volumenkonstanz wird den galvanisierten Modellen eine Überlegenheit über die Modelle aus anderen Materialien bescheinigt (25, 28).

Zur Herstellung verkupfter Modelle benötigt man einen Gleichrichter als Stromquelle, eine Kupfersalzlösung als Elektrolyten und eine Kupferplatte als Anode. Die zu galvanisierende Oberfläche des Abdruckes wird mit Silberstaub oder Graphitpaste leitend gemacht und dient als Kathode. Beide Elektroden hängen, ohne sich zu berühren, im Elektrolyten und sind mit der Stromquelle verbunden; die Kupferplatte mit dem positiven Pol, der Abdruck mit dem negativen. Sobald zwischen den Elektroden eine Spannung besteht, fließt ein Strom, und in der Abdruckhohlform scheidet sich Kupfer ab. In Abhängigkeit von der Stromstärke bildet sich eine ausreichend dicke Schicht des Kupferniederschlages schneller oder lang-

samer aus. Das eingesetzte Gerät gestattet wahlweise eine "Schnellverkupferung" in drei Stunden, eine "Nachtverkupferung" in zwölf Stunden und eine "Wochenendverkupferung" in 60 Stunden.

Den Vorteil einer kürzeren Galvanisationsdauer erkaufte man sich jedoch mit dem Nachteil einer verminderten Qualität des Niederschlages. MARXKORS (16) erwähnt, daß mit Abnahme der Zeit und dadurch bedingter Erhöhung der Stromstärke der Kupferniederschlag grobkörniger wird. Er erinnert allerdings auch an die bei einer langzeitigen Galvanisation stärker auftretenden Volumenänderungen der elastomeren Abformmassen.

Im Vergleich zur Galvanoplastik bereitet die Verarbeitung der Hartgipse, Modellzemente und Kunststoffe einen geringen Aufwand. Die Modellherstellung mit diesen Materialien erfolgt durch Anmischen fester und flüssiger Anteile zu einer plastischen Masse, mit der die Abdruckform ausgefüllt wird.

Die Grundsubstanz der Hartgipse wird durch Brennen von Rohgips, ein Dihydrat des Kalziumsulfats, gewonnen. Beim Erhitzen verliert der Gips $3/4$ seines Kristallwassers und geht in ein Hemihydrat über. Daneben enthält das Hartgipspulver Farbstoffe und Zusätze, die die Härte und Abbindezeit beeinflussen (KÖRBER (13), WEIKART (30)). Das Abbinden eines mit Wasser angerührten Gipsbreis beruht darauf, daß der gebrannte Gips unter Bindung von Wasser kristallisiert. Überschüssiges Wasser, das zunächst als freies Wasser zwischen den Kristallen lagert, verdampft beim Austrocknen und hinterläßt Poren (13).

Im Zusammenhang mit der Porosität ist das Volumen des abgebundenen Gipses zu sehen. Ein steigender Wasseranteil am Mischungsverhältnis läßt beides zunehmen (30). Um die Auswirkung dieses Verhaltens auf ein Minimum zu beschränken, soll die Wassermenge möglichst niedrig gehalten werden. Für Kerr Vel-Mix Stone wird ein Mischungsverhältnis Pulver/Wasser von 4:1 empfohlen. Die angerührte

Masse fließt kaum und muß deshalb auf dem Vibrator eingerüttelt werden. Außer den Poren können weitere Hohlräume zwischen den Kristallen infolge Einschließung von Luftblasen beim Anrühren entstehen. Mit Hilfe einer mehr rührenden als schlagenden Anmischtechnik und der Verwendung von Rüttelmaschinen, damit durch die Vibration die Luftblasen aus der Tiefe der Abdruckform nach oben steigen, ist die Blasenbildung weitgehend vermeidbar (13).

Den Ausführungen kann man entnehmen, daß die Rauheit der Modelle aus Hartgips ein Produkt material- und verarbeitungsbedingter Faktoren ist. Eine Untersuchung von FÜRER (6) bestätigt den Einfluß der Kristallgröße und -form wie auch der Porosität.

Die Autorin stellte Prüfkörper aus Hartgipsbrei von unterschiedlicher Konsistenz mittels Einzentrifugieren und Einrütteln in Kupferringe her, die auf Glasplättchen befestigt waren. Einschleudern und Anmischen mit weniger Wasser verringern die Porosität und verbessern die Oberflächenglätte. Letzteres erklärt sie sich mit der Annahme, daß aufgrund der Zentrifugalkraft das Kristallgefüge umgelagert wird und die größten Kristalle sich mit ihren planen Längsflächen parallel zur Oberfläche ausrichten. Von den untersuchten Hartgipsen weist der mit der durchschnittlich kleineren Kristallgröße die glattere Oberfläche auf.

Über die Zusammensetzung der flüssigen und festen Anteile der Modellzemente schreiben MARXKORS (16) und SCHWINDLING (28), daß sie den Silikatzementen ähnlich ist und außerdem Bestandteile der Phosphatzemente enthält.

Modellzemente werden angespatelt. Entsprechend der Gebrauchsanweisung des De Trey's Fabrikates benutzt man am besten Bein- oder Achatspatel und eine Thermoanmischplatte aus Glas, weil die Temperatur der Platte 20°C nicht übersteigen soll. Da die Kühlung die Abbindereaktionsgeschwindigkeit der Mischung herabsetzt, wird die Verarbeitungsbreite verlängert. Sie ist trotz dieser Maßnahme

relativ kurz. Exakte Angaben über das Mischungsverhältnis werden nicht gemacht, statt dessen wird eine Konsistenz beschrieben, die die Masse annehmen soll. Diese Konsistenz macht ein Hineinfließen in die Abdruckform nahezu unmöglich. Die Gebrauchsanweisung empfiehlt, mit einem Instrument "nachzuhelfen", ohne Druck anzuwenden. In der Praxis läuft das jedoch auf ein Stopfen unter geringfügiger Druckausübung hinaus.

Hier wird ein Nachteil der Modellzemente offenkundig, der dazu geführt hat, diese Materialien als wenig geeignet für die Verwendung mit elastomeren Abformmassen zu bezeichnen. Da der Stopfdruck eine Deformation des Abdruckes bewirkt, kann eine ungenaue Wiedergabe der Form und der Oberflächengestalt nicht ausgeschlossen werden (16, 28).

Das Anspateln einer plastischeren Konsistenz zur Steigerung des Fließvermögens ist wegen des Dimensionsverhaltens nicht ratsam. Die Modellzemente weisen eine Kontraktion auf (GARDEMIN (9)), die mit Abnahme des Pulveranteils am Mischungsverhältnis eine steigende Tendenz zeigt (MEISNER (18)). De Trey's Modell-Zement nimmt in der Reihe der untersuchten Materialien die Stelle des am wenigsten schrumpfenden Zementes ein.

Diemet aus der Gruppe der Kunststoffe ist laut Prospekt des Herstellers ein "selbsthärtender Zweikomponenten-Werkstoff". Die in der zahnärztlichen Technik verwendeten hochmolekularen Kunststoffe entstehen entweder durch Polymerisation oder durch Polykondensation aus niedermolekularen Bausteinen. Mit dem Mischen beider Komponenten wird dieser Entstehungsprozess unter Mitwirkung von Katalysatoren eingeleitet.

NEWMAN und WILLIAMS (20) geben als Bestandteile des Pulvers eine Metallegierung mit Quarzmehl als Füller und Benzoylperoxid als Härter an. Die Flüssigkeit enthält nach ihren Aussagen einen Polyester-Kunststoff mit einem Amin und einem Dimethylanilin als

Beschleuniger.

Aus dem hohen Metallgehalt - er macht annähernd 90% des Pulvers aus (20) - leitet der Hersteller einerseits eine große Härte und Kantenfestigkeit seines Produktes ab. Andererseits soll der Metallgehalt die Volumenkonstanz des Werkstoffes sicherstellen und wegen der Schwere der Masse günstig für ein blasenfreies Ausfüllen des Abdruckes sein. MARXKORS (16) sieht in der Zugabe von metallischen Füllstoffen den Versuch, der bei der Polymerisation oder Polykondensation auftretenden starken Kontraktion der Kunststoffe entgegenzuwirken. Allgemein wird für diese Materialien eine Volumenschrumpfung angegeben, die bis zu 2% linear betragen kann (16, 28). Genaue Angaben über das Dimensionsverhalten des Diemets liegen nicht vor.

Eine nach Gebrauchsanweisung hergestellte Mischung aus zwei Teilen Pulver und einem Teil Flüssigkeit nimmt eine sehr zähfließende Konsistenz an. Da die richtig angerührte Masse nicht in den Abdruck gegossen werden kann, soll sie mit dem der Packung beiliegenden Anrührspatel in die Form "gestrichen" werden.

Von den bei der Beschreibung der Abformmaterialien aufgezählten Komponenten, die für die Reproduktion von Oberflächengestalten besonders wichtig sind, kann man die beiden erstgenannten auf die Modellmaterialien übertragen: das Fließvermögen und die Konsistenz der Massen wie auch die Korngröße der Bestandteile bestimmen schließlich, in welchem Maße die im Abdruck festgehaltenen Rauheiten des Originals auf dem Modell wiedergegeben werden. Der Einfluß der Volumenabweichung der Modellwerkstoffe auf die detailgetreue Reproduktion scheint auf den ersten Blick vernachlässigt werden zu können. Für den Vergleich der Oberflächengestalt des Originals und des Modells gewinnt er jedoch an Bedeutung, wenn man die Dimensionsänderung der Abformmaterialien und auch die beim Aufschumpfen auf den Abformmassenträger entstehenden Verzerrungen hinzurechnet. Je nach Kombination der beiden Werkstoffe können

sich diese Veränderungen mehr oder minder summieren bzw. kompensieren. Es leuchtet ein, daß wegen des Aufschrumpfens die Kontraktion einer Abformmasse nur mit einem kontrahierenden Modellmaterial ausgeglichen werden kann.

Wie bereits erwähnt, sind die Volumenänderungen der Abformmaterialien teilweise nach 48 Stunden noch nicht abgeschlossen. Ähnliches berichtet GARDEMIN (9) über das Dimensionsverhalten einiger Modellmaterialien. Er stellte bei Prüfkörpern aus Hartgips im Durchschnitt nach 300 Minuten und bei solchen aus Modellzement nach 900 Minuten keine Längenänderung mehr fest. Kerr Vel-Mix Stone und De Trey's Modell-Zement gehörten zu den geprüften Werkstoffen. Bei dem letzteren fällt eine beträchtliche Abflächung der kontraktionskurve nach ca. 300 Minuten auf.

Die Ausführungen lassen erkennen, daß durch gezielte Kombination von Abform- und Modellmaterial und durch den Zeitpunkt der Modellherstellung und der Oberflächenmessung der Summations- bzw. Kompensationseffekt der Volumenänderung beider Stoffe und damit das Ergebnis der Wiedergabegenauigkeit manipuliert werden können.

MARXKORS (16) stellt die Frage, ob die Expansionskraft der Modellwerkstoffe mit Plusverhalten die zur Ausdehnung erforderliche Verdrängung des Abformmaterials herbeiführen kann. Die starren Kompositionsmassen werden einer derartigen Verformung eine größere Kraft entgegensetzen als die elastischen Abformmassen. An dieser Stelle ist an den "Flow" der Abformmaterialien unter dem Gewicht der Modellmaterialien zu denken. Diesbezüglich muß man bei dem schweren Kunststoff mit hohem Metallgehalt eher mit einer Deformation rechnen als bei dem wesentlich leichteren Hartgips und Modellzement.

Abschließend sei noch ein Nachteil der Kompositionsmassen genannt, der sich beim Entfernen des erhärteten Modells aus dem Abdruck zeigt. In den Feinheiten des Oberflächenreliefs bleiben Reste der

thermoplastischen Massen zurück. Das notwendige Reinigen kann die Qualität der Oberflächenreproduktion beeinträchtigen. Üblicherweise werden die an Hartgips- und Modellzementstümpfen haftenden Reste mit einem weichen Pinsel und Chloroform ausgewaschen, Diemet hingegen soll nach Herstellerangaben mit Benzin oder Spiritus gereinigt werden.

6. Literatur über Methodik:

6.1. Oberflächenmeßgeräte:

Zur meßtechnischen Erfassung von Rauheiten werden überwiegend Geräte verwendet, die entweder als Tastschnittgeräte auf mechanischem Wege oder als Lichtschnittgeräte auf optischem Wege Profilschnitte aufzeichnen. Während die Messung mit den letzteren ohne Berührung der Oberfläche erfolgt, findet bei den ersteren eine Berührung durch einen Taster statt. Dieser gleitet mit einem geringen Auflagedruck über die Oberfläche.

Ein Vertreter der Tastschnittgeräte ist der Profilograph Typ 5815*. Er wurde u.a. von FUHR (8) zur Messung von Rauheiten präparierter Zahnoberflächen und von WILHELM (31) zur Prüfung einiger Abformmaterialien benutzt. WILHELM (31) stellte dabei fest, daß bei der Messung eines sehr weichen Materials der Auflagedruck des Tasters ausreichte, um eine feine Spur auf der Oberfläche zurückzulassen. Außerdem vermutete er für die schlechte Qualität der Istoberfläche einiger elastischer Abformmaterialien eine meßtechnische Ursache. Das veranlaßte KREBS und MARX (14), dem Profilographen einen Vertreter des anderen Meßverfahrens, ein Lichtschnittmikroskop**, in einer vergleichenden Untersuchung an einigen Abformmaterialien und einem Modellmaterial gegenüberzustellen. Sie wiesen eine Überlegenheit des Lichtschnittmikroskopes für die Ausmessung weicher, hochelastischer Materialien nach. Für die meßtechnische Auswertung harter, unelastischer Materialien beurteilten sie beide Verfahren als etwa gleichwertig, allerdings mit der Einschränkung, daß das Lichtschnittmikroskop bei stark reflektierenden Oberflächen ungenaue Ergebnisse liefert. Ferner fiel ihnen eine geringere Standardabweichung der Meßwerte des Profilographen bei starren Materialien auf.

* Institut Dr. Förster, Reutlingen

** Carl Zeiss, Oberkochen

6.2. Arbeitsweise des verwendeten Meßgerätes:

Für die Oberflächenmessungen der vorliegenden Arbeit steht der Profilograph Typ 5815 mit einem Krümmungstaster zur Verfügung. Da es sich ausschließlich um harte und teilweise um stark reflektierende Prüfflächen handelt, ist das Gerät für die Untersuchung gut geeignet.

Über die prinzipielle Arbeitsweise des Gerätes findet man in der Bedienungsanleitung folgendes: "Die Werkstücksoberfläche wird mit einer Diamantnadel abgetastet. In einem elektromechanischen Wandler wird die Bewegung der Tastnadel, die von einem Vorschub über die Werkstücksoberfläche geführt wird, in eine elektrische Spannung umgesetzt." Diese wird einer Registriervorrichtung zugeführt, die das Oberflächenprofil auf Papierstreifen aufzeichnet und die praktisch wichtigsten Rauheitsmaße auf einer Instrumentenskala anzeigt.

Die Diamantnadel ist beweglich in dem vorderen Teil des Tasters aufgehängt. Ihr Spitzenwinkel beträgt 60° und ihr Spitzenradius 0,01 mm. Der Auflagedruck der Nadel wird mit ca. 0,1 g beziffert.

Mit einer Gleitkufe liegt der Taster der Prüffläche auf. Er muß so eingestellt sein, daß während des Meßvorganges der Auflagedruck nicht verstärkt wird und die Gleitkufe nicht abhebt. Das Gerät ermöglicht eine Kontrolle der richtigen Einstellung. Sie ist dann gegeben, wenn der Zeiger der Instrumentenskala in einem rot markierten Feld steht.

Durch Spannen des Vorschubes wird die Meßnadel an den Anfangspunkt der innerhalb von 10 mm variierbaren Meßstrecke gebracht. Nach Auslösen des Meßvorganges läuft er mit konstanter Geschwindigkeit zurück. Dabei gleitet der Taster mit der Kufe über die höchsten Erhebungen, während sich die Diamantnadel in alle Rillen hineinbewegt. Der Verlauf der Gleitkufe kennzeichnet das Bezugs-

profil. Als Istprofil wird die Relativbewegung zwischen Gleitkufe und Diamantnadel festgehalten.

Die Form des aufgezeichneten Istprofils richtet sich nach der Vertikal- und Horizontalvergrößerung des Profilschriebes. Beide Größen können durch Einstellen verschiedener Meßbereiche und Vorschubgeschwindigkeiten des Registrierstreifens verändert werden. Auf dem Zeigerinstrument können von den Rauheitsmaßen u.a. die Rauhtiefe R_t und die Glättungstiefe R_p wahlweise abgelesen werden.

6.3. Prüfkörper:

Zur Beurteilung des Reproduktionsvermögens der Abdruck- und Modellwerkstoffe dienten Gegenstände mit den verschiedensten Oberflächen gestalten als Vergleichsobjekte.

So wurden zur Prüfung einiger Abformmassen von MEYER und UHLIG (19) eine Münze, von RITZE (26) eine Schallplatte, von WILHELM (31) ein zur Eichung des beschriebenen Profilographen benötigtes Rauhnormale und von REHBERG (24) eine Metallplatte benutzt, die dem in der ADA Spezifikation Nr. 19 vorgesehenen Testblock ähnelte. Das Rauhnormale besteht aus Hartmetall und weist eine definierte, gleichmäßige Rauheit in der Größenordnung von 0,021 mm auf. Der ADA-Testblock ist mit einer genormten Rillenschar versehen. Die Rillenprofile sind gleichschenkelige Dreiecke mit sieben unterschiedlichen Seitenlängen, von denen die kleinste 0,025 mm beträgt und die nächstgrößere jeweils um diesen Wert zunimmt.

Bei Arbeiten über Modellmaterialien - hauptsächlich Hartgipse - wurden von FINGER (5) ebenfalls ein Rauhnormale, von FÜRER (6) sowie von PANTKE und HERRNSDORF (23) Glasplatten als Prüfkörper herangezogen. Die letztgenannten haben darüber hinaus in einer anderen Versuchsreihe die Rauhtiefen der mittels Abdruck von einem vernickelten Versuchskörper gewonnenen Modelle gemessen.

KREBS und MARX (14) bedienten sich bei ihrem Vergleich der beiden Meßverfahren wie WILHELM (31) eines Rauhnormals und zusätzlich eines dem ADA-Testblock angelehnten Prüfkörpers, dessen Oberfläche sie über eine Abformung auf Prüflinge aus Hartgips projizierten.

Mit Ausnahme der Glasplatten und der Münze verkörperten die Vergleichsobjekte Rauheitsmaße, wie sie auf präparierten Zahnoberflächen vorkommen. Den Veröffentlichungen der o.a. Autoren ist zu entnehmen, daß die Proben der Materialien als Abformung der Prüfläche hergestellt wurden. Demzufolge entsprachen die Rillen bei der Abformung und Modellherstellung einschließlich der Abnahme der Prüflinge keiner Querrauheit im Sinne untersichgehender Stellen.

7. Eigene Untersuchungen:

7.1. Prüfkörper:

Um mit den Versuchen den klinischen Arbeitsgang der Abformung und den labortechnischen der Modellherstellung möglichst praxisnah nachvollziehen zu können, wurde ein Prüfkörper in Form eines Zahnstumpfes angefertigt, der eine Simulation des Ring-Abdruck-Verfahrens gestattete. Einerseits sollte die Rauheit des Stumpfes der beim Beschleifen eines Zahnes entstehenden Rauheit entsprechen, andererseits mußte er aus meßtechnischen und statistisch-repräsentativen Erwägungen an einer Seite eine plane, gleichförmig strukturierte Fläche haben. Außerdem sollten die Rillen der Fläche Unterschnitte darstellen.

Aus diesen Gründen wurde der Prüfkörper auf folgende Weise hergestellt: Ein frisch extrahierter Molar wurde zunächst wie zur Aufnahme einer Gußkrone konisch beschliffen. Zervikal hatte er eine schmale, parallelwandige Zone. Die Bearbeitung der eigentlichen Prüffläche erfolgte durch Naßpräparation mit einem neuen, zylindrischen Diamantschleifer bei ca. 350 000 U/min. Antriebsaggregat war eine luftgetriebene Turbine. Die Gestaltung eines planen, geordnet-rilligen Oberflächencharakters ließ sich mit Hilfe einer Diamantschleifmaschine bewerkstelligen. Man konnte das Turbinenwinkelstück fest und den Zahnstumpf auf einem Schlitten beweglich einspannen, so daß sich der Prüfkörper tangential am rotierenden Schleifkörper vorbeibewegen ließ. Die Schnittrichtung des diamantierten Schleifers verlief quer zur Stumpfachse. Nach dreimaligem Vorbeifahren des Schlittens wurde die entstandene Rauheit der Prüffläche an drei senkrecht zu den Rillen verlaufenden Meßstrecken, A, B und C, zwei lateralen und einer mesialen, mit dem Profilographen abgetastet. Eine anschließende Glättung mit einem entschärften, zylindrischen Finierer bei ca. 35 000 U/min. wurde von Hand vorgenommen.

Am zervikalen Ende der Prüffläche wurden vier grobere Rillen, eine Quer- und drei Längsrillen, gesetzt, mittels derer die Meßstrecken einjustiert wurden. Der Zahnstumpf wurde für die Abdrucknahme mit seiner Wurzel in Hartgips eingesockelt. Ein dem Querschnitt des Prüfkörpers gleichendes, minimal größeres Plateau garantiert einen gleichmäßigen Sitz der Ringe. Das auf diese Weise angefertigte Original für die herzustellenden Modelle wird in den Abbildungen 5a bis 5c veranschaulicht.

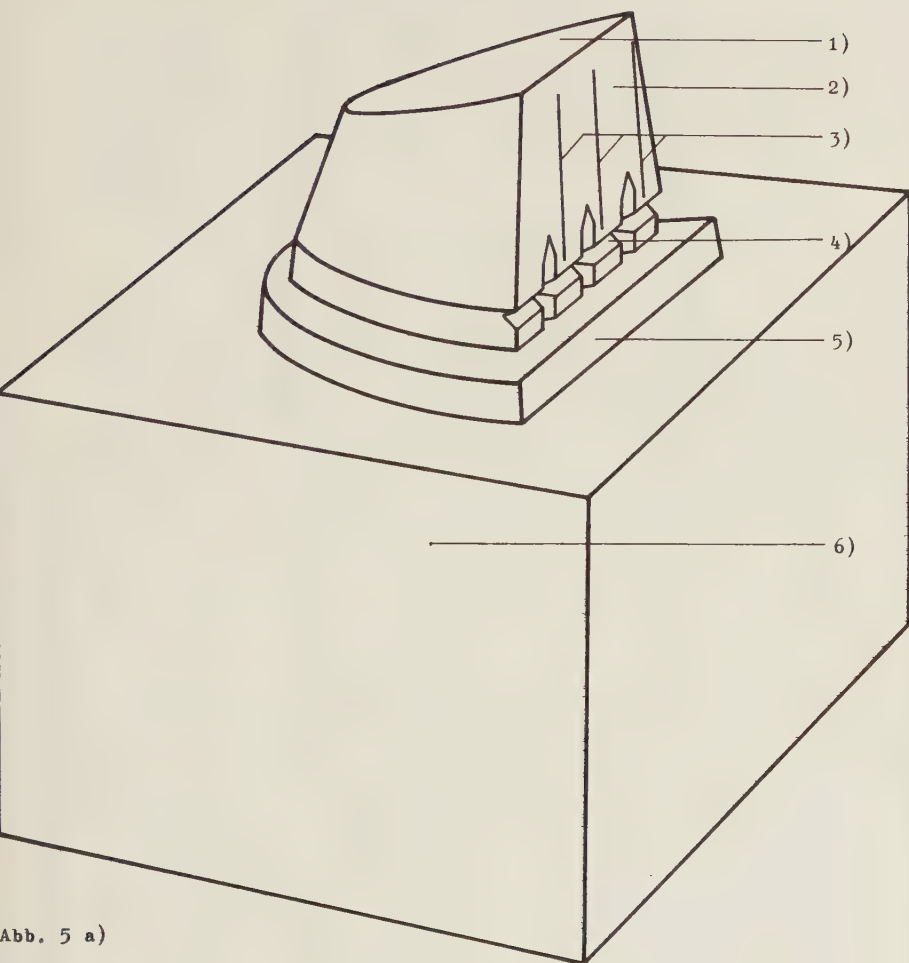


Abb. 5 a)

Abb. 5: Schematische Darstellung des Prüfkörpers,
a) Gesamtansicht, b) Seitenansicht, c) Prüfflächenansicht;

- 1) Stumpf, 2) Prüffläche, 3) Meßstrecke A, B und C,
4) Justierrillen, 5) Plateau, 6) Sockel.

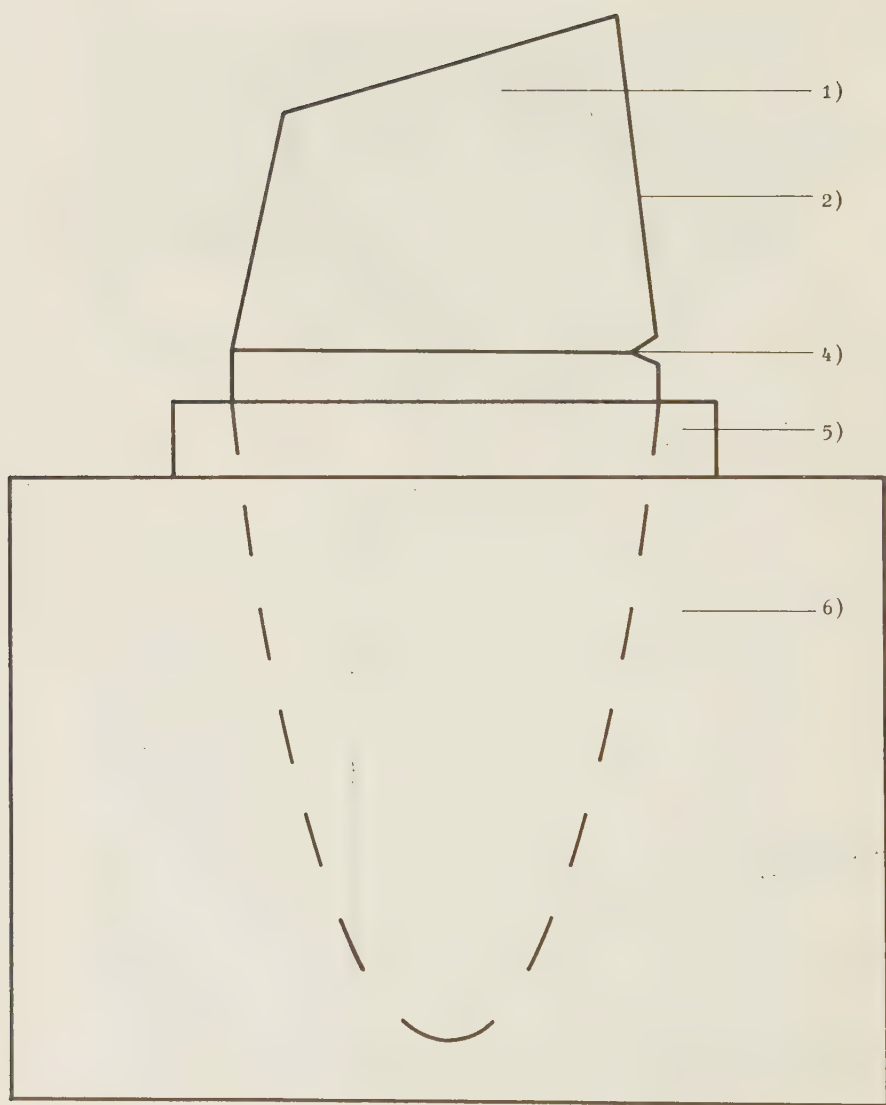


Abb. 5 b)

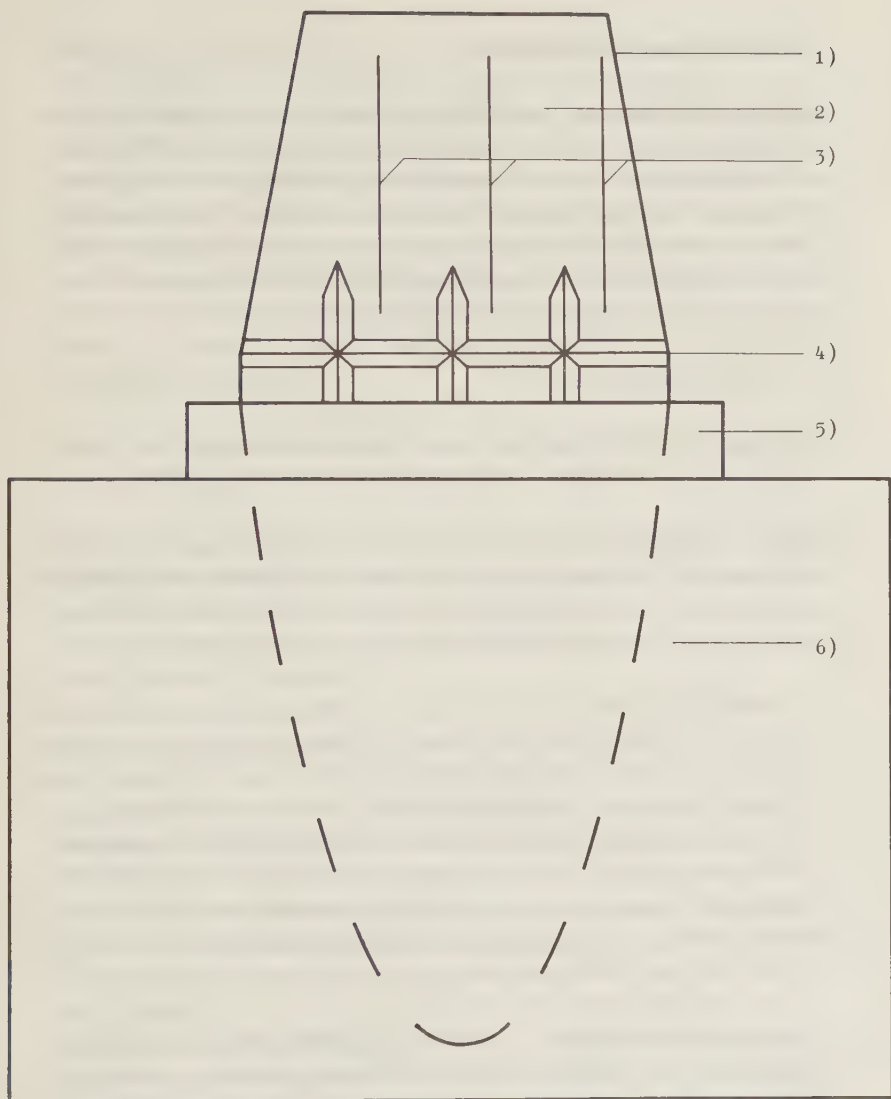


Abb. 5 c)

7.2. Anfertigen der Prüflinge:

Bei der Abformung und Modellherstellung wurden die speziellen Gebrauchsanweisungen der Materialien und die allgemein-gültigen, aus materialkundlichen Untersuchungen gewonnenen Verarbeitungshinweise berücksichtigt. Die Versuche wurden bei Zimmertemperatur ohne Beachtung der Luftfeuchtigkeit durchgeführt. Es sollten mit den zwölf möglichen Kombinationen der drei Abform- und vier Modellmaterialien jeweils vier Stümpfe hergestellt werden.

7.2.1. Abformung:

Die Temperatur des abzuformenden Originals betrug ca. 21°. Der Zahnstumpf war bei jeder Abdrucknahme trocken und sauber.

Xantugen wurde durch Erwärmung über der offenen Flamme erweicht. Impregum und Xantopren blau in der vorgeschriebenen Dosierung und Zeit intensiv zu homogenen Massen angemischt. Der Abdruck wurde innerhalb der angegebenen Verarbeitungsbreite genommen.

Es wurden Kupferringe verwendet, deren Größe so gewählt worden war, daß zwischen Prüffläche und Ringwand zervikal eine 1 mm und okkusal eine 2 mm dicke Abformmassenschicht entstand. Die Kupferringe für die elastomeren Massen waren durch Erhitzen und Eindrücken in eine Basisplatte mit einem starren Deckel ausgestattet. Außerdem waren sie mit einem Drahtbügel versehen. Beides sollte eine Deformierung des Ringes beim Abziehen vom Prüfkörper verhindern. Die Kupferringe waren rechtzeitig mit Adhäsiv eingepinselt worden, damit es bis zum Einfüllen der Pasten angetrocknet war.

Zur Abdrucknahme wurden die mit Abformmaterial beschickten Ringe in Richtung der Längsachse über den Stumpf geschoben. Die überschüssige Kompositionsmasse floß durch die Ringöffnung ab, die der elastomeren Massen durch ein Loch in der Mitte des Deckels. In der letzten Phase des Aufschiebens wurde das Abfließen durch

Auflegen der Fingerkuppe unterbunden. Nach Erreichen der endgültigen Position wurde während der ersten 5 Sekunden Druck auf den Ring ausgeübt. Im weiteren Verlauf bis zur Abnahme wurde der Ring ohne Druck in derselben Position gehalten. Die Aushärtungs- bzw. Abbindezeit war infolge der Temperatur des Prüfkörpers länger als vorgeschrieben bemessen. Das Abziehen geschah in Richtung der Stumpfachse, ohne zu hebeln; die mit Xantynen gefüllten langsam unter stetigem Zug, die mit Impregum oder Xantopren blau beschickten schnell und ruckartig. Gemäß Herstellerhinweis wurden die Abdrücke mit Impregum anfänglich unter Zug gehalten, bis sich der Saugverschluß löste.

Eine Ausmessung der Prüffläche nach Abschluß der Abformung sollte zeigen, ob sich ihre Oberflächengestalt verändert hatte.

Für die Weiterverarbeitung wurden nur nach klinischen Gesichtspunkten brauchbare Abdrücke gewählt; solche mit Mängeln, wie Fehlstellen, Blasen und Verzerrungen in einem nicht vertretbaren Ausmaß, schieden aus. Bis zur Modellherstellung wurden sie trocken und bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

7.2.2. Modellherstellung:

Die Anfertigung der Modelle wurde 24 Stunden nach der Abformung vorgenommen. Die für die Kupfergalvanoplastik vorgesehenen Abdrücke wurden zunächst mit Alkohol gereinigt und mit Druckluft trockengeblasen. Nachdem Xantynen und Impregum durch Einpinseln mit Graphitpaste, Xantopren blau mit Silberpulver leitend gemacht worden waren, folgte das Anlegen einer Wachsmanschette und einer Kontaktklemme an den Ring. Die Klemme saß am versteiften, okklusalen Ende, um am instabilen, zervikalen Rand keine Verformung - besonders der Kupferringe mit elastischen Massen - hervorzurufen. Nach Einbringen in das Elektrolytbad wurden die elektrischen Kontakte mit dem Galvanisiergerät geschlossen. Die Verkupferung dauerte 12 Stunden und endete mit dem Ausfüllen der Restlumen der

Abdrücke mit Hartgips.

Das zur Galvanisierung benötigte Gerät, das Elektrolytbad, die kupferanode, die Klemme, die Graphitpaste und das Silberpulver stammten von der Firma FD Frankonia Dental, Erlangen.

Die mit herr Vel-Mix Stone, De Trey's Modell-Zement oder Diemet anzufüllenden Kupferringabdrücke erhielten ebenfalls eine Wachsmanschette zur Formung einer Stumpfwurzel. Alle Materialien wurden im vorgeschriebenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis verarbeitet. Der Hartgips wurde angerührt und unter Vibration in die Hohlform gegossen. Auf einer Thermoanmischplatte, deren Temperatur bei 18°C lag, wurde der Modellzement mit einem Kunststoffspatel angemischt. Zum Einbringen in die Form war ein "Nachhelfen" mit einem Stopfinstrument unumgänglich. Es wurde auf ein Einrütteln verzichtet, weil es die Gebrauchsanweisung nicht ausdrücklich vorsieht. Das trifft auch für den Kunststoff zu. Das angerührte Material wurde vorschriftsmäßig in das Abdrucknegativ "gestrichen".

Bis zum Entfernen der Modellstümpfe aus dem Abdruck blieben die Ringe eine Stunde unberührt auf der okklusalen Fläche stehen. An den Kunststoffmodellen haftende Kompositionsmasse wurde mit einem weichen Pinsel und Benzin entfernt. Chloroform reinigte die Stümpfe aus den beiden anderen Werkstoffen. Bis zur Ausmessung wurden die Modelle 24 Stunden trocken und bei Zimmertemperatur gelagert.

7.3. Oberflächenmessung:

Die Modelle wurden für die meßtechnische Erfassung in einen Gipssockel eingelassen. Ihre Prüffläche und eine Fläche des Sockels bildeten eine Ebene. Diese Gipskörper wurden in einen kugelgelenkig gelagerten Schraubstock eingespannt, der auf einem schwenkbaren Kreutztisch mit zweifacher Parallelführung montiert war. Die

Parallelführungsschrauben hatten eine Mikrometereinteilung. Mit dieser Anordnung war ein präzises Einjustieren der Prüflinge möglich, was im einzelnen folgende Arbeitsgänge umfaßte:

1. Parallele Ausrichtung der Prüffläche
zum horizontal eingestellten Vorschub,
2. senkrechte Ausrichtung der Meßstrecken
zu den Rillen,
3. Festlegung der Anfangspunkte der Meßstrecken.

Die beiden ersten Arbeitsgänge ließen sich mit Hilfe einer Libelle verwirklichen, während für die Durchführung des dritten die Kontrolleinrichtung des Profilographen genutzt werden konnte. Dazu wurde die ausgerichtete Prüffläche so eingestellt, daß sich im gespannten Zustand des Vorschubes die Diamantnadel mit richtigem Auflagedruck in der Nähe des festzulegenden Anfangspunktes befand. Der Zeiger des Meßinstrumentes stand dann im roten Feld der Skala. Bei Betätigung der Parallelführungsschrauben des Kreuztisches glitt die Prüffläche unter der Diamantnadel hinweg. Sobald eine Justierrille überquert wurde, bewegte sich die Meßnadel in die Vertiefung hinein, und der Zeiger verließ das rote Feld. Sein maximaler Ausschlag kennzeichnete den tiefsten Punkt der Rille. Ausgehend von dieser Zeigerposition konnte der Anfangspunkt des Meßweges durch Drehen der Parallelführungsschrauben um einen definierten Betrag fixiert werden. Jeder Anfangspunkt wurde zweidimensional bestimmt, indem die Querrille und die zugehörige Längsrille als Bezugspunkte herangezogen wurden (Abb. 6).

Die beschriebene Methode gewährleistete in einem Höchstmaß, bei allen Modellen die gleichen Profilschnitte zu erfassen. Jede Meßstrecke wurde viermal abgetastet. Insgesamt wurden also an 48 Modellen mit jeweils drei Meßwegen 576 Messungen durchgeführt. Die Istprofile wurden mit einer 300-fachen Vertikal- und einer 40-fachen Horizontalvergrößerung aufgezeichnet, d.h. 10 mm auf dem Registrier-

streifen entsprechen in senkrechter Richtung 0,033 mm und in waagerechter Richtung 0,25 mm. Außerdem wurden die angezeigten Rauhtiefen R_t abgelesen.

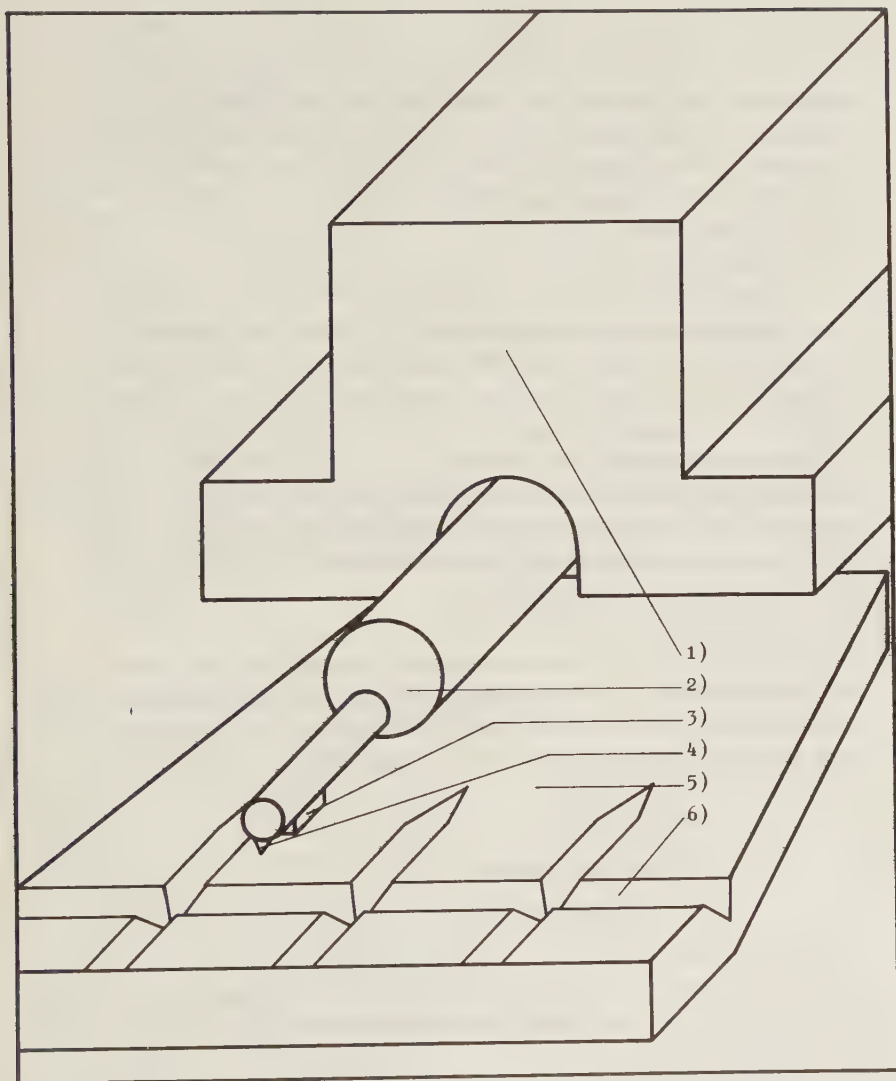


Abb. 6: Schematische Darstellung des Meßvorganges,

- 1) Vorschub, 2) Taster, 3) Gleitkufe, 4) Diamantnadel,
5) Prüffläche, 6) Justierrillen.

7.4. Ergebnisse:

Ein optisch-qualitativer Vergleich der Profilkurven und Fotografien sowie eine statistische Auswertung der Profilkurven sind Grundlage für die Beurteilung des Reproduktionsvermögens der Materialien. Die Ergebnisse werden in vier nach den Modellmaterialien geordneten Gruppen dargelegt.

7.4.1. Optisch-qualitativer Vergleich

Von jeder geprüften Werkstoffkombination werden drei charakteristische Kurven abgebildet. Sie zeigen die drei verschiedenen Meßstrecken A, B und C eines Prüflings. Eine fotografische Vergrößerung der entsprechenden Prüffläche als ganzes soll den in den Profilogrammen nur ausschnittsweise dargestellten Oberflächencharakter des Modells vervollständigen. Im optisch-qualitativen Vergleich werden die Profilkurven der Prüflinge einander und den Profilkurven des Prüfkörpers gegenübergestellt. Die Fotografien werden als Ergänzung hinzugezogen.

Eine von WILHELM (31) vorgenommene Aufgliederung des Begriffes der Prägeschärfe - in der zahnärztlichen Literatur ein Synonym für Reproduktionsvermögen - läßt eine differenzierte Auswertung und Beurteilung zu; er nennt drei Unterbegriffe:

1. Tiefenschärfe,
2. Feinheitenwiedergabe,
3. Oberflächenglätte.

Die Aussage über die Tiefenschärfe bewertet die Fähigkeit der Materialien, tiefe Räume einer Oberflächengestalt scharf auf ein Modell zu übertragen.

7.4.1.1. Prüfkörper:

Die nach dem ersten Schritt der Stumpfpräparation aufgezeichneten Profile zeigen einen nahezu einheitlichen Verlauf mit abwechslungsreich geformten Wellentälern und -bergen (Abb. 7). Der zweite Schritt, die glättende Nachbearbeitung, bewirkte ein Abtragen der Wellenberge, und ließ als Prüffläche ein ebenes Niveau mit zahlreichen talförmigen Einschnitten zurück (Abb. 8 u. 9). Aus dem fast deckungsgleichen Verlauf der Kurven kann man schließen, daß die Oberfläche im Bereich zwischen den beiden seitlichen Meßstrecken eine einheitliche Gestalt hat. An den Profilen, die nach Beendigung der Abdrucknahme aufgezeichnet wurden, können keine Veränderungen der Prüffläche wahrgenommen werden.

Da die Oberflächengestalt des Originals sowohl plane, glatte als auch rillige Anteile von sehr unterschiedlicher Rauheit aufweist, ist die Voraussetzung für die differenzierte Prüfung der Oberflächenqualität der Modelle gegeben; es können somit die Tiefenschärfe, die Feinheitenwiedergabe und die Oberflächenglätte beurteilt werden.

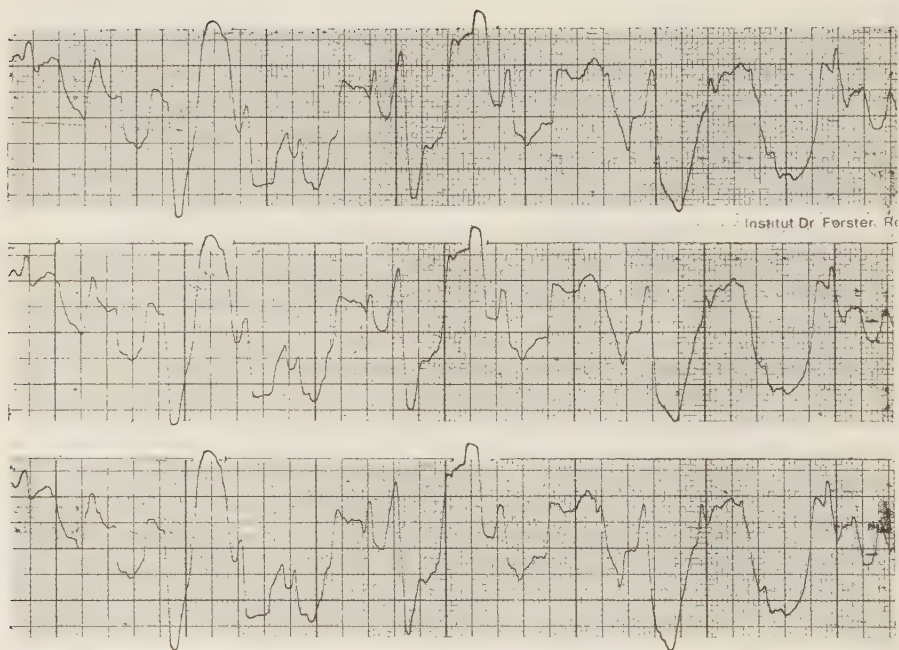


Abb. 7: Profilkurven des Prüfkörpers nach Naßpräparation mit
diamantiertem Schleifer bei 350 000 U/min;
Meßstrecke A, B und C (von oben).



Institut Dr. Förster, Reutlingen

**Abb. 8: Profilkurven des Prüfkörpers nach Glättung mit Finierer
bei 35 000 U/min; Meßstrecke A, B und C (von oben).**



Abb. 9: Oberflächengestalt des Prüfkörpers (Vergrößerung 16:1).

7.4.1.2. Prüflinge aus Modellzement:

In dieser Gruppe fallen die über Xantopren-Abformung hergestellten Modelle durch eine annähernd genaue Oberflächenreproduktion auf (Abb. 10b). Kaum schlechter fällt das Ergebnis für die mittels Impregum gewonnenen Stümpfe aus. Es sind nur minimale Unterschiede in der Tiefenschärfe, Feinheitenwiedergabe und Oberflächenglätte feststellbar (Abb. 10a).

Dagegen zeigt die Kombination Xantugen/De Trey's Modell-Zement deutlich veränderte Profilkurven. Lediglich in der Aufzeichnung der Meßstrecke C erkennt man das Profil des Originals wieder; zwischen den Meßstrecken A scheint keine Beziehung zu bestehen (Abb. 10c). Tiefenschärfe und Feinheitenwiedergabe sind schlecht. Besser schneidet die Oberflächenglätte ab, was aus den unverfälschten Partien des mittleren Profils ersichtlich ist (Abb. 10c).

Die fotografischen Oberflächenvergrößerungen unterstreichen die Aussagen der Profilogramme. Während der geordnet-rillige Oberflächencharakter des Zahnstumpfes detailliert aus den Abbildungen 11a und 11b hervorgeht, zeigt die Abbildung 11c eine überwiegend narbige Oberfläche.

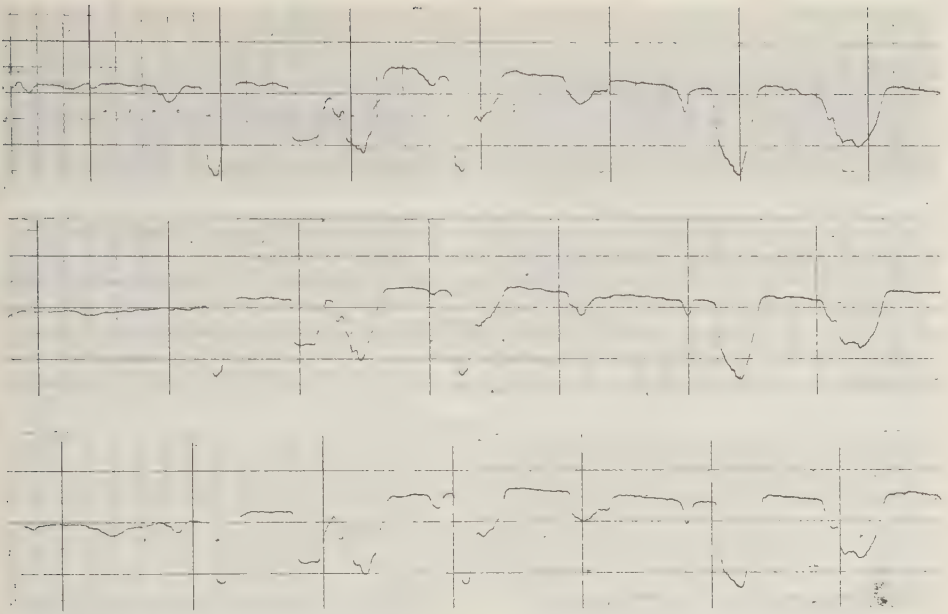


Abb. 10 a)

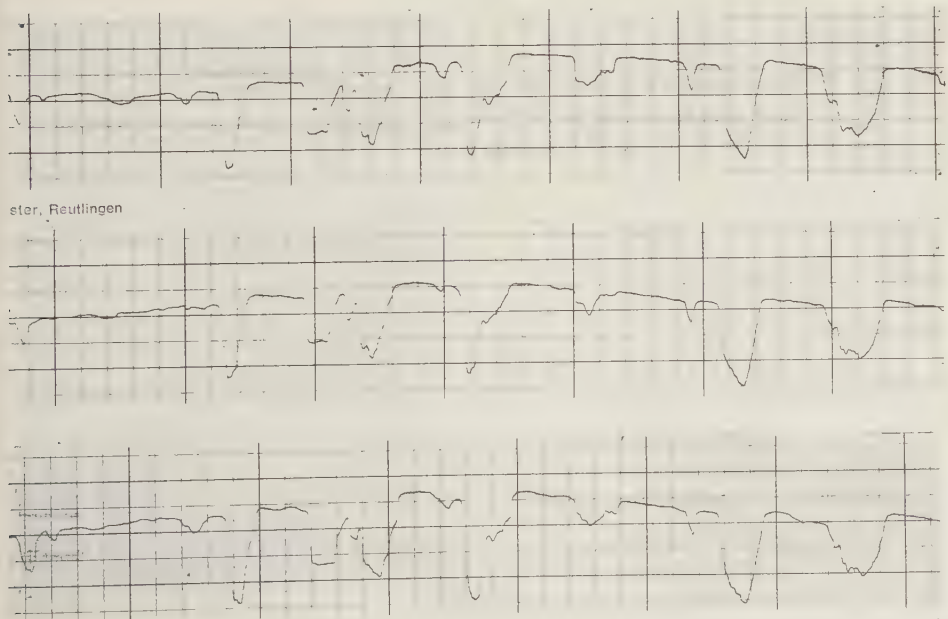


Abb. 10 b)

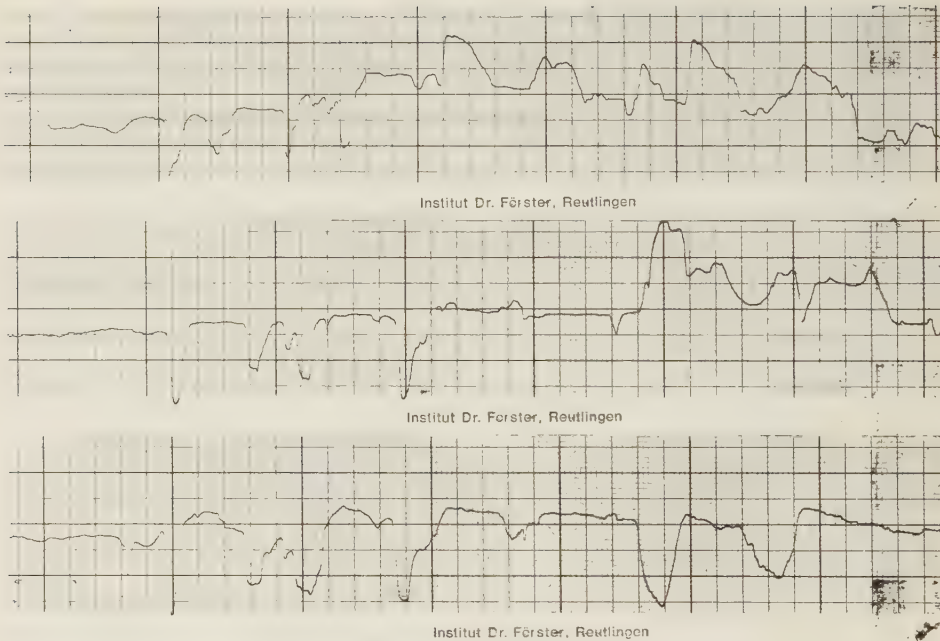


Abb. 10 c)

Abb. 10: Profilkurven der Modelle aus De Trey's Modell-Zement
a) nach Impregum-, b) nach Xantopren-, c) nach Xantolgen-Abformung;
Meßstrecke A, B und C (von oben).

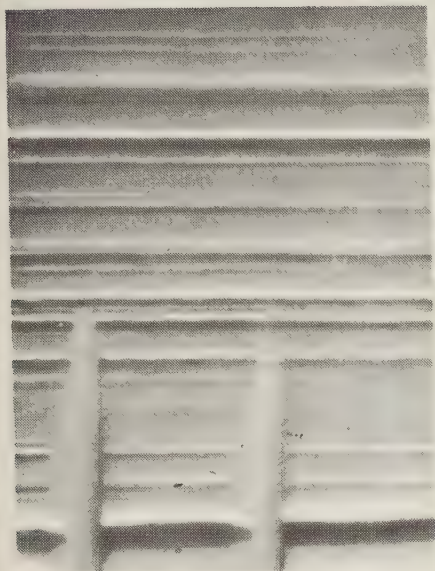


Abb. 11 a)

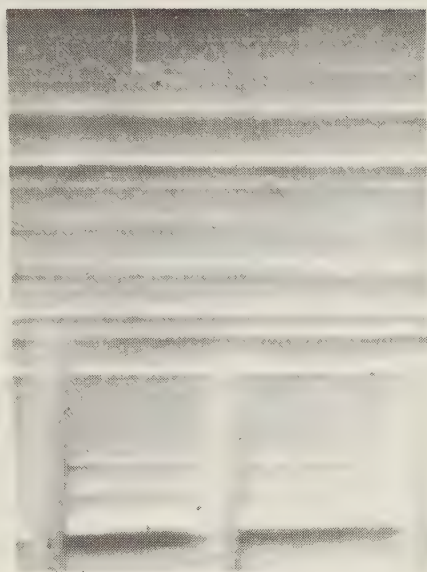


Abb. 11 b)

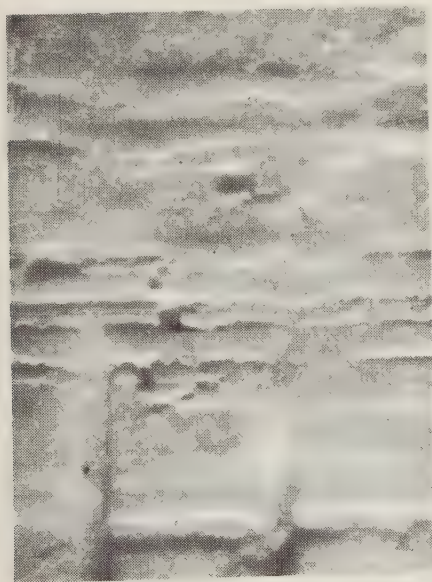


Abb. 11 c)

Abb. 11: Oberflächengestalt der
Modelle aus De Trey's
Modell-Zement

a) nach Impregum-, b) nach
Xantopren-, c) nach Xan-
tygen-Abformung (Vergrös-
serung 16:1).

7.4.1.3. Prüflinge aus Kunststoff:

Die Profilschnitte aller Modelle aus Diemet heben sich deutlich von den Vergleichsprofilen des Originals ab. Bei den mit Hilfe der Elastomeren gewonnenen Prüflingen überrascht besonders die Rauheit der Abschnitte zwischen den Rillen. Darüber hinaus stimmen die Rillentiefen und Feinheiten nicht mit denen des Prüfkörpers überein (Abb. 12a, b). Auf den entsprechenden Fotografien sieht man eine feinkörnige Oberfläche (Abb. 13a, b).

Die Diemet-Modelle nach Xantegen-Abformung geben plane Anteile der Prüffläche auf den Registrierstreifen und im Foto wesentlich glatter wieder (Abb. 12c und 13c).

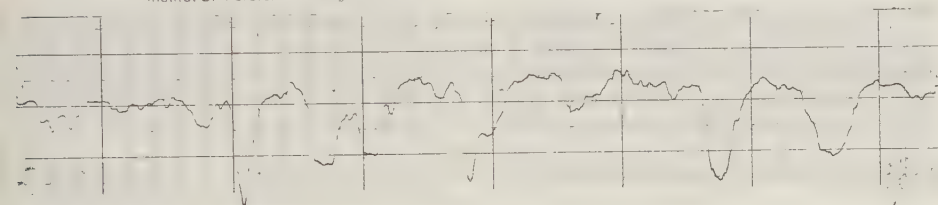
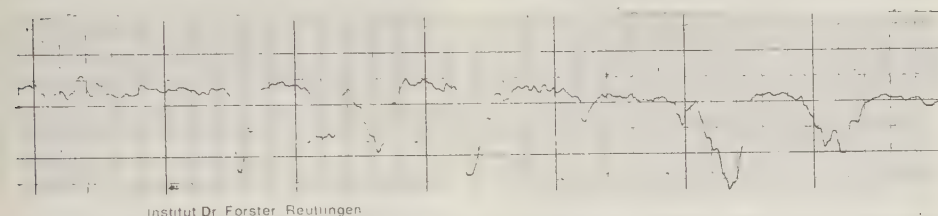
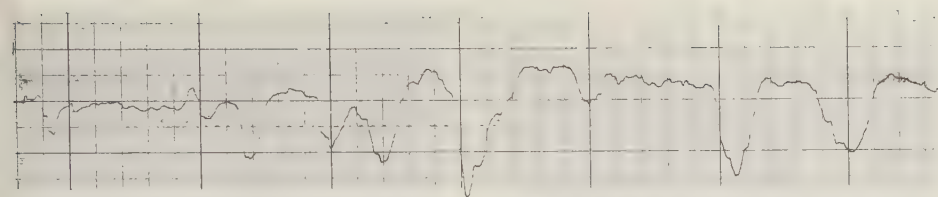


Abb. 12 a)

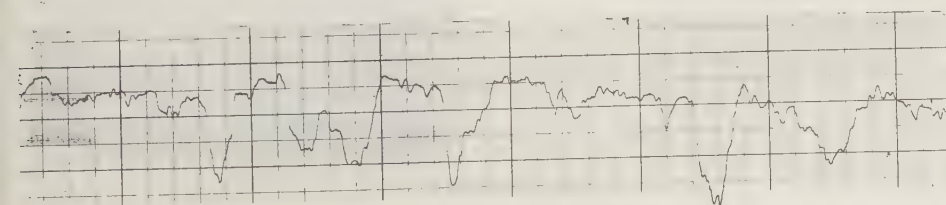
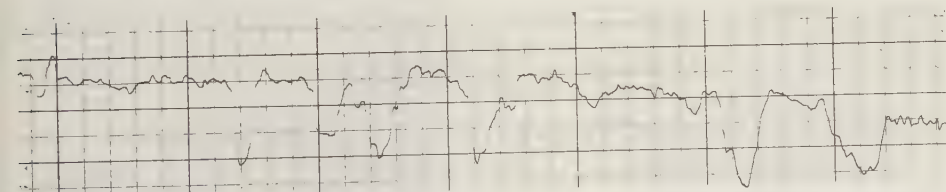
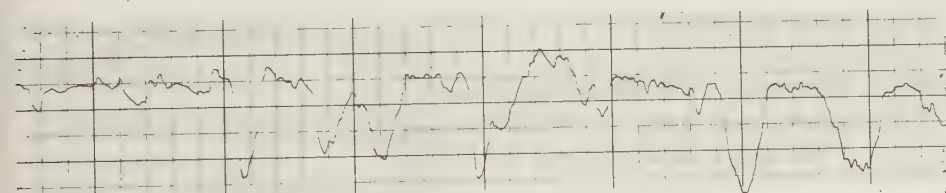


Abb. 12 b)

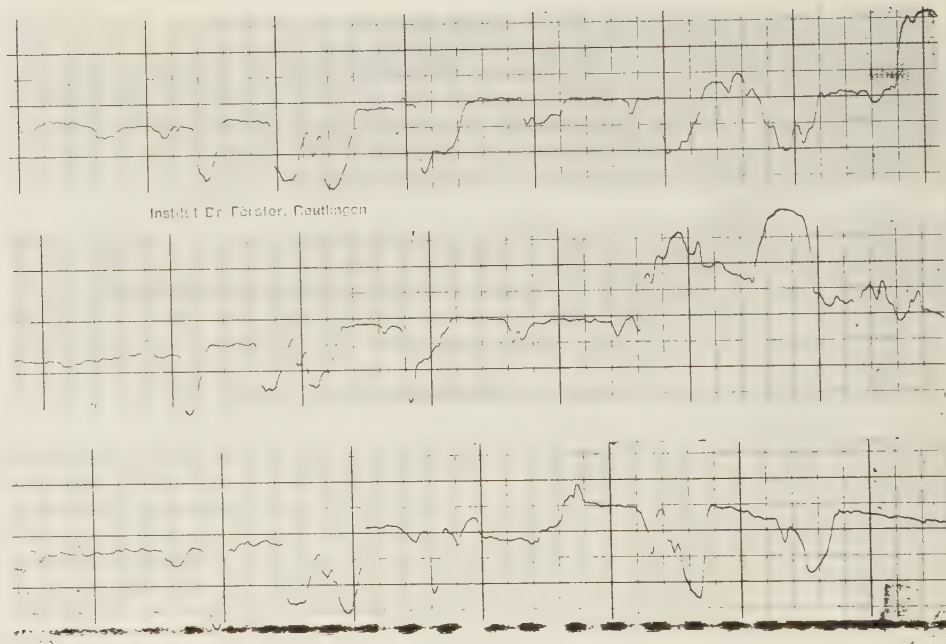


Abb. 12 c)

Abb. 12: Profilkurven der Modelle aus Diemet

a) nach Impregum-, b) nach Xantopren-, c) nach Xantigen-Abformung;
Meßstrecke A, B und C (von oben).

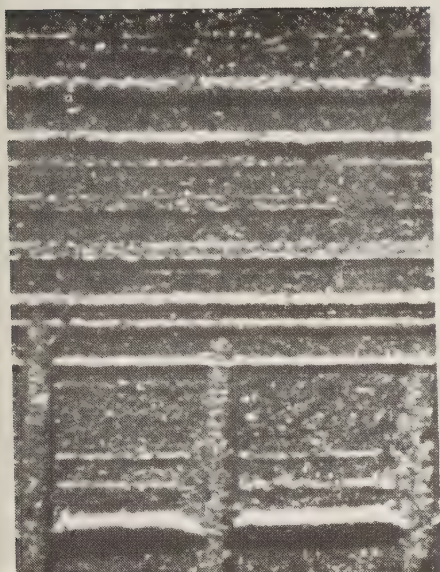


Abb. 13 a)



Abb. 13 b)

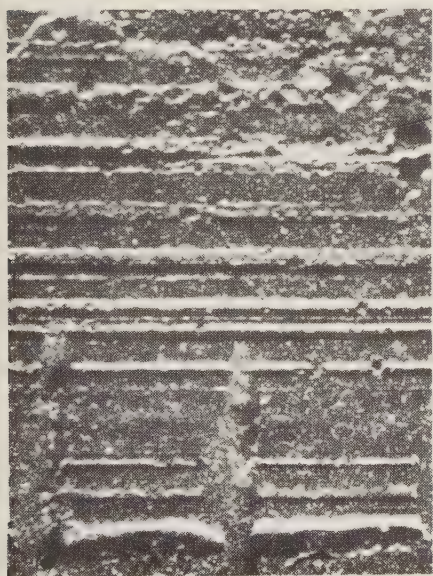


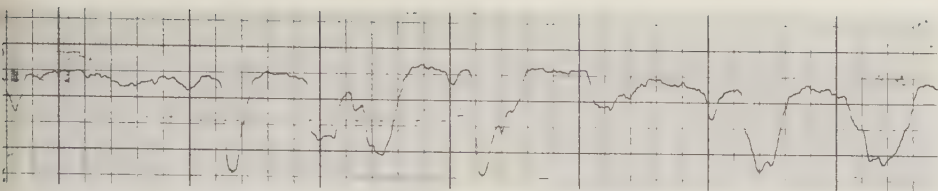
Abb. 13 c)

Abb. 13: Oberflächengestalt der
Modelle aus Diemet
a) nach Impregum-, b) nach
Xantopren-, c) nach Xan-
tygen-Abformung (Vergrös-
serung 16:1).

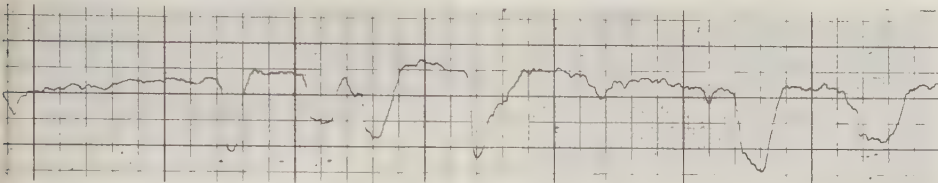
7.4.1.4. Prüflinge aus Hartgips:

Qualitätsmäßig stehen die mit Kerr Vel-Mix Stone ausgefüllten Impregum- und Xantopren-Abdrücke zwischen den entsprechenden Stümpfen aus dem Modellzement und dem Kunststoff. Das glatte, ebene Niveau des Originals erscheint auf den Modellen als leicht aufgerauhte Oberfläche wieder. Auch die Reproduktion feinsten Details und der Rillen, speziell ihrer tiefsten Stellen, gelingt nicht originalgetreu (Abb. 14a, b). Auf den Bildern sind zahlreiche Poren sichtbar (Abb. 15a, b).

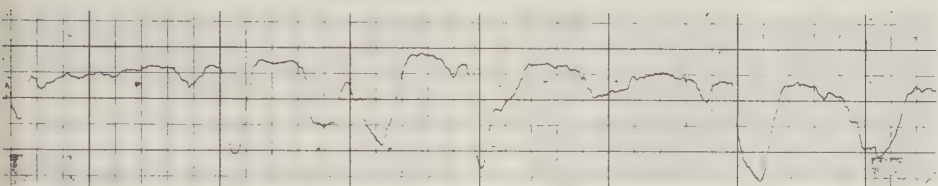
In den Profilbildern der Materialkombination Hartgips/Xantogen ist die Rauheit noch ausgeprägter (Abb. 14c). Die Aufnahme dieses Stumpfes zeigt eine stark abweichende Oberflächengestalt mit Kuppen und Mulden (Abb. 15c).



20

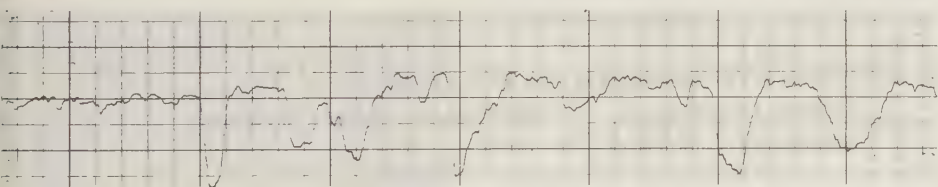


Institut Dr. Förster, Reutlingen

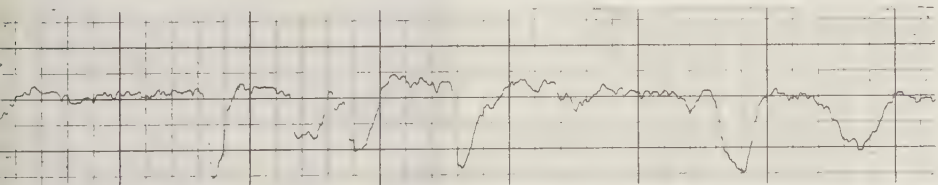


t Dr. Förster, Reutlingen

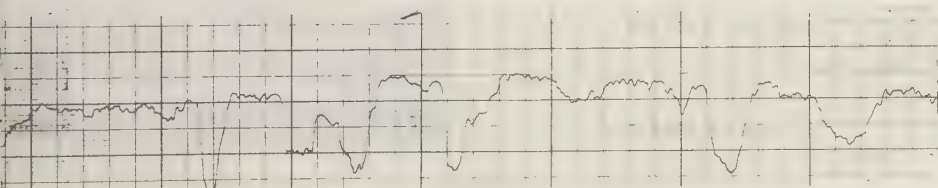
Abb. 14 a)



Institut Dr. Förster, Reutlingen



Institut



Institut Dr. Förster, Reutlingen

Abb. 14 b)

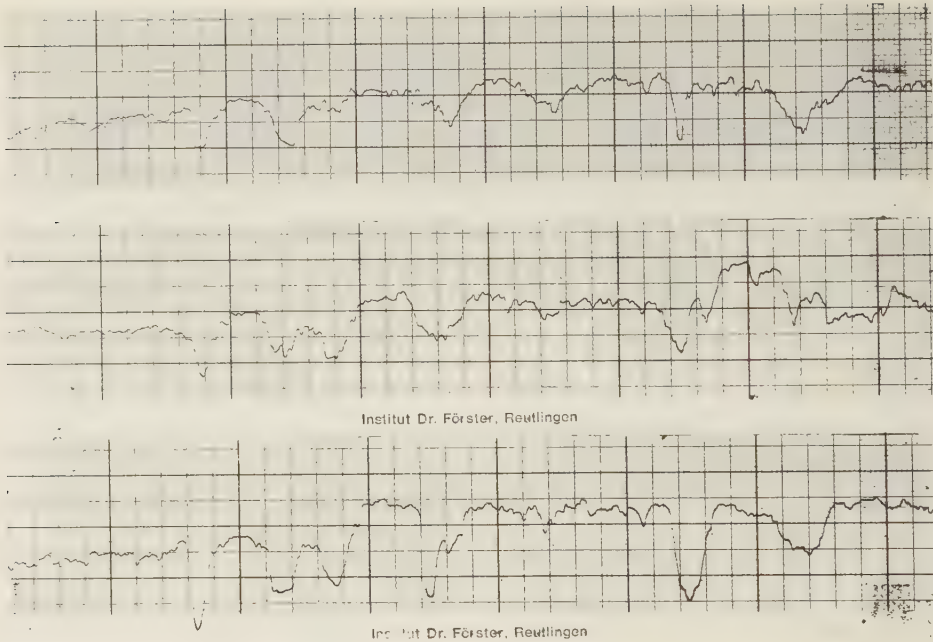


Abb. 14 c)

Abb. 14: Profilkurven der Modelle aus Kerr Vel-Mix Stone

a) nach Impregum-, b) nach Xantopren-, c) nach Xantigen-Abformung;
Meßstrecke A, B und C (von oben).

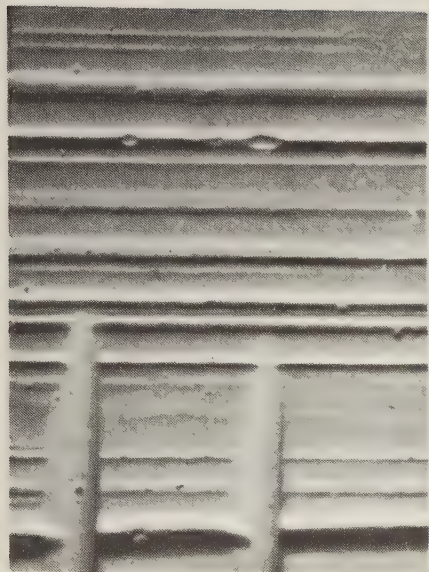


Abb. 15 a)

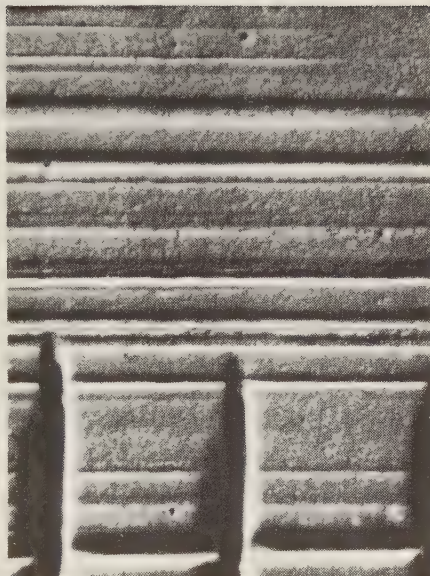


Abb. 15 b)

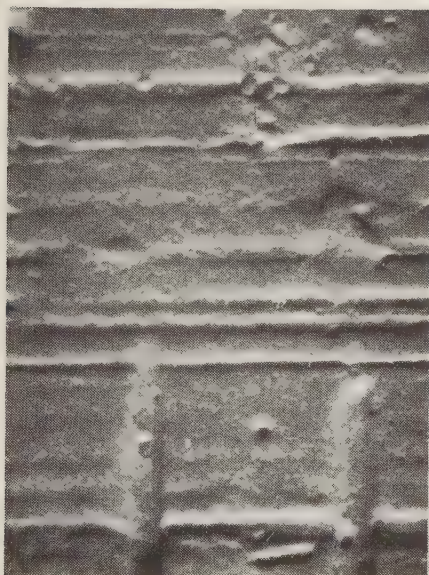


Abb. 15 c)

Abb. 15: Oberflächengestalt der
Modelle aus Kerr Vel-
Mix Stone

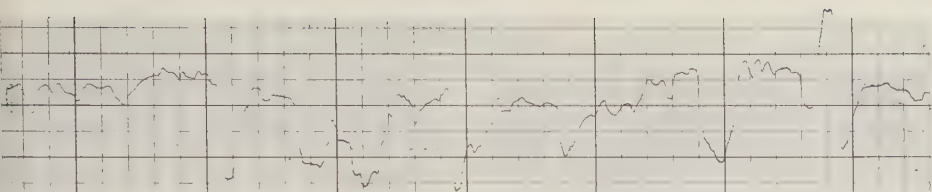
a) nach Impregum-, b) nach
Xantopren-, c) nach Xan-
tygen-Abformung (Vergrös-
serung 16:1).

7.4.1.5. Verkupferte Prüflinge:

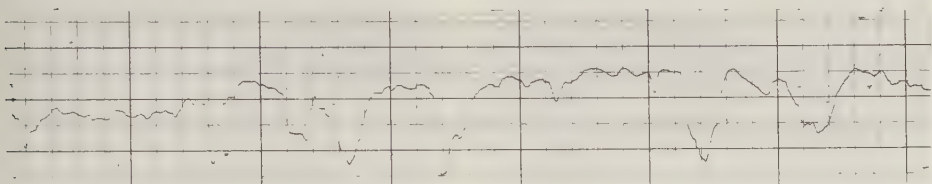
In der Gruppe der galvanoplastisch hergestellten Modelle fällt der verkupferte Xantopren-Abdruck durch seine kaum zu überbietende Reproduktion auf. Die Profilogramme repräsentieren nahezu identische Abbilder der Vergleichskurven des Originals (Abb. 16b). Diese Materialkombination ist von allen untersuchten am höchsten einzustufen.

Innerhalb der Gruppe besteht im Gegensatz zu den anderen Gruppen ein ausgesprochen deutlicher Unterschied zwischen den beiden Vertretern der elastischen Abformmassen. Der Profilverlauf des metallisierten Impregum-Abdrucks weicht erheblich vom Originalprofil ab (Abb. 16a). Auch den fotografischen Vergrößerungen ist die Differenz zwischen den beiden Werkstoffkombinationen zu entnehmen (Abb. 17a und 17b).

An den Profilkurven und am Foto des verkupferten Xantogen-Abdrucks kann man, wie bei allen Modellen nach Xantogen-Abformung, gravierende Differenzen im Vergleich zum Original ablesen (Abb. 16c und 17c).



ngen



Institut Dr. Förster, Frankfurt

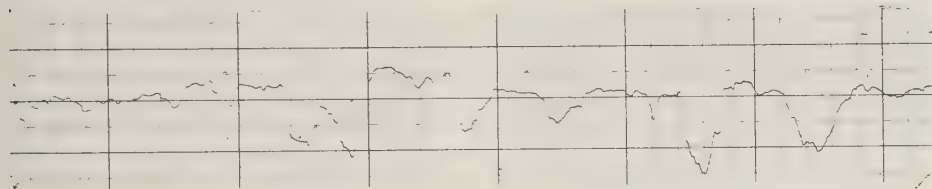
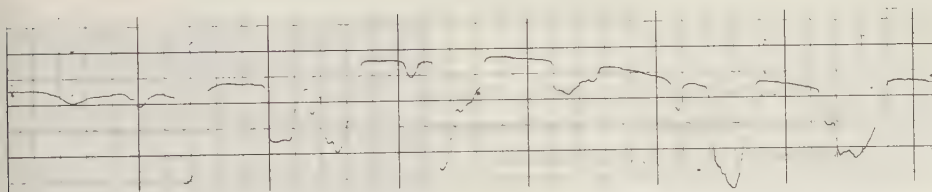
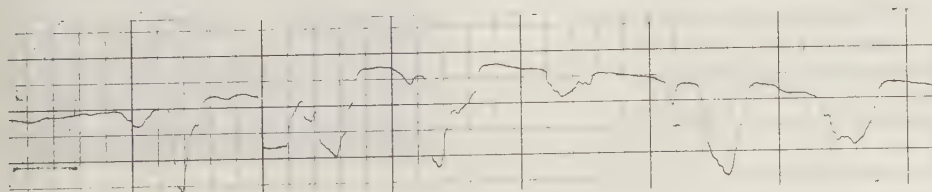
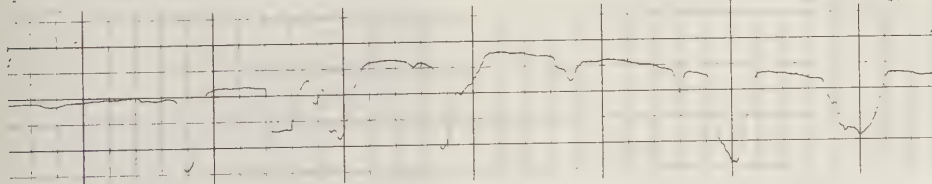


Abb. 16 a)



Institut Dr. Förster, Rostock



Int

Abb. 16 b)

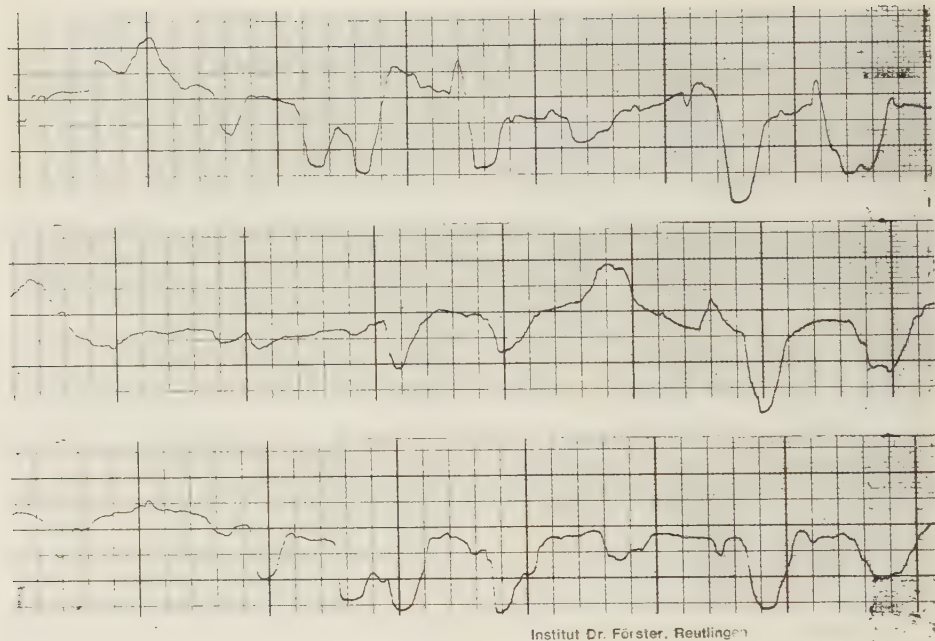


Abb. 16 c)

Abb. 16: Profilkurven der verkupferten Modelle

a) nach Impregum-, b) nach Xantopren-, c) nach Xantigen-Abformung;
Meßstrecke A, B und C (von oben).

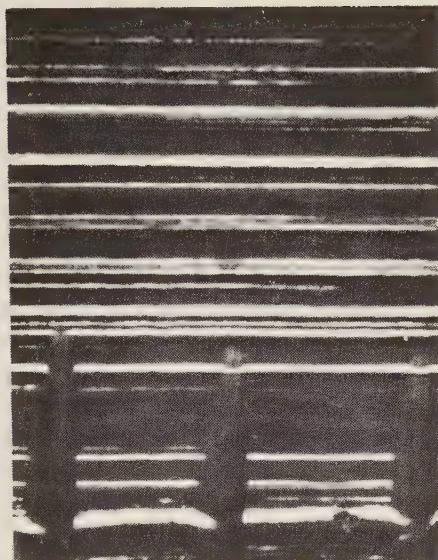
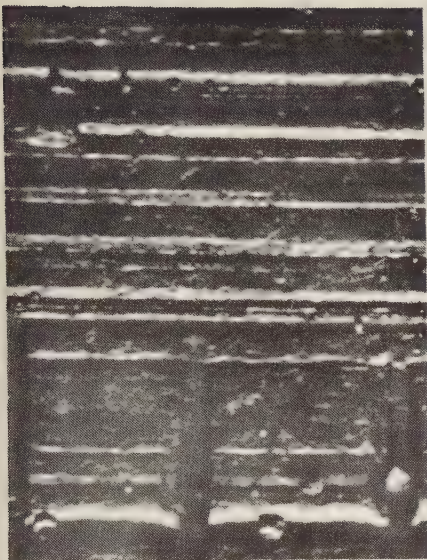


Abb. 17 a)

Abb. 17 b)



Abb. 17 c)

Abb. 17: Oberflächengestalt der
verkupferten Modelle
a) nach Impregum-, b) nach
Xantopren-, c) nach Xan-
tygen-Abformung (Vergrös-
serung 16:1).

7.4.2. Zusammenstellung der Ergebnisse des optisch-qualitativen Vergleichs:

Neben dem Reproduktionsvermögen kann - als Nebenprodukt dieser Untersuchung - die "Erfolgssicherheit" (16) der Werkstoffe mit in die Bewertung einbezogen werden. Sie wird daran gemessen, wieviele Abdrücke genommen bzw. wieviele Abdrücke mit Modellmaterial ausgefüllt werden mußten, um für jede der zwölf Materialkombinationen vier brauchbare Prüflinge zu erhalten. Dabei wurden die Abdrücke, die wegen fehlerhafter Modellherstellung wiederholt werden mußten, nicht dem Abformmaterial zur Last gelegt. Um auf die benötigte Anzahl von 16 Abdrücken pro Abformmaterial und 12 Modellen pro Modellmaterial zu kommen, mußten mit den einzelnen Materialien u.a. Abformungen bzw. Modellherstellungen durchgeführt werden:

Impregum	: 20
Xantopren blau	: 17
Xantugen	: 21
De Trey's Modell-Zement	: 15
Diemet	: 14
Kerr Vel-Mix Stone	: 12
Kupfergalvanoplastik	: 12

Bei Impregum bildeten sich häufig zahlreiche Blasen im Bereich der Rillentiefen. Sie erscheinen auf den Modellen als Kuppen wie der (Abb. 15 und 17). Von den Xantugen-Abdrücken wurden nur solche weiterverarbeitet, bei denen sich die Materialabrisse beim Entfernen vom Stumpf hauptsächlich auf die Rillen beschränkten. Die fehlerhaften Modelle aus De Trey's Modell-Zement und Diemet waren wegen Blasenbildung infolge Lufteinschlusses nicht zu verwerten, was auf die Technik des Ausfüllens der Abdruckform zurückzuführen ist.

Die Ergebnisse des optisch-qualitativen Vergleichs und die Erfolgssicherheit sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefaßt. Es werden die Materialkombinationen beurteilt ohne Berücksichtigung, ob das Abformmaterial und/oder das Modellmaterial das Ergebnis maßgeblich beeinflußt haben.

Im einzelnen werden die Reproduktionen an sich, ihre drei Einzelkriterien und die Erfolgssicherheit aufgeführt. Die Abstufungen werden durch Vergabe positiver und negativer Zeichen vorgenommen. Ihre Skala reicht von stark positiv (+++) bis stark negativ (---) (Tab. 1).

Modelmaterial	Abformmaterial	Reproduktion	Tiefen- scharfe	Feinheiten- wiedergabe	Oberflächen- glätte	Erfolgs- sicherheit
De Trey's Modell-Zement	Impregum Xantopren Xantugen	+ + + + + - - -	+ + + + + - - -	+ + + + + - - -	+ + + + + + +	- - - + - - -
Diemet	Impregum Xantopren Xantugen	- - - - - - -	- - - - -	- - - - - - -	- - - - - - +	- - - + - - -
Kerr Vel-Mix Stone	Impregum Xantopren Xantugen	+ + - - -	+ + + - - -	- - - - -	- - - - -	- + + - - -
Kupfer- galvanisierung	Impregum Xantopren Xantugen	- - + + + - - -	+ + + + - - -	- + + + - - -	- - + + + + +	- + + - - -

Tabelle 1: Übersicht über die Ergebnisse des optisch-qualitativen Vergleichs und die Erfolgsicherheit

7.4.3. Statistische Auswertung:

Die Rauheit der Modelle soll objektiv mit der Rauheit des Originals verglichen werden. Für die statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse werden alle 576 Messungen herangezogen. Der mathematischen Berechnung der Rauhtiefe R_t wird bei allen Istprofilen die gleiche Rauheitsbezugsstrecke l zugrunde gelegt (Abb. 3). Jede Meßstrecke eines Prüfkörpers wurde viermal abgetastet. Aus den vier Werten wird der durchschnittliche Wert ermittelt. In den Tabellen 2 bis 5 sind die vom Registrierstreifen abgelesenen Werte in mm zusammengestellt. Da die Istprofile mit einer 300-fachen Vertikalvergrößerung aufgezeichnet wurden, müssen die Werte durch 300 dividiert werden. Der Quotient gibt die Rauhtiefe R_t in Mikrometer an.

Aus den Rauhtiefen R_t der vier Prüfkörper jeder Werkstoffkombination werden innerhalb der drei Meßstrecken die Rauhtiefenmittelwerte $\bar{x}_{R_t}$ mit der Standardabweichung s berechnet. In der Tabelle 6 sind die Werte aufgestellt. Auf den Seiten 69 bis 72 werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung graphisch dargestellt.

Die Rauhtiefe R_t des Originals beträgt im Bereich der Meßstrecken A und B 0,066 Mikrometer und im Bereich der Meßstrecke C 0,073 Mikrometer. Bei den vier Messungen innerhalb einer Meßstrecke traten keine Schwankungen auf (Standardabweichung = 0).

Tabelle 2: Übersicht über die Rauhtiefen der Istprofile
(Maßeinheit: mm, Vertikalvergrößerung: 300-fach)

Modellmaterial	Abformmaterial	Meßstrecke			Prüfkörper
		A	B	C	
De Trey's Modell-Zement	Impregum	22,88	20,75	22,00	1
		22,00	19,50	20,63	2
		19,25	20,00	22,38	3
		21,50	19,00	21,00	4
	Xantopren	22,50	20,75	19,75	1
		22,00	20,00	22,00	2
		21,13	19,50	21,00	3
		21,13	19,00	19,50	4
	Xantugen	18,00	14,00	27,00	1
		19,63	36,00	20,88	2
		23,00	30,00	21,00	3
		27,00	25,38	28,88	4

Tabelle 3: Übersicht über die Rauhtiefen der Istprofile
(Maßeinheit: mm, Vertikalvergrößerung: 300-fach)

Modellmaterial	Abformmaterial	Meßstrecke			Prüfkörper
		A	B	C	
Diemet	Impregum	24,50	20,13	28,25	1
		28,00	21,00	24,75	2
		27,13	25,63	24,25	3
		24,00	20,50	23,25	4
	Xantopren	22,50	23,63	22,38	1
		23,50	22,88	29,50	2
		27,00	21,00	24,25	3
		25,75	21,50	26,00	4
	Xantugen	33,75	19,00	20,00	1
		21,50	20,38	48,00	2
		19,25	35,13	24,50	3
		26,25	32,00	23,17	4

Tabelle 4: Übersicht über die Rauhtiefen der Istprofile
(Maßeinheit: mm, Vertikalvergrößerung: 300-fach)

Modellmaterial	Abformmaterial	Meßstrecke			Prüfkörper
		A	B	C	
Kerr Vel-Mix Stone	Impregum	21,00	18,50	22,50	1
		23,63	20,00	25,33	2
		24,00	21,88	21,25	3
		21,00	21,00	22,50	4
	Xantopren	20,50	18,13	22,75	1
		22,63	20,00	22,25	2
		21,00	20,50	22,50	3
		21,00	19,88	24,38	4
	Xantugen	23,13	18,13	18,63	1
		20,00	21,00	22,38	2
		19,13	19,38	21,50	3
		13,75	18,75	23,50	4

Tabelle 5: Übersicht über die Rauhtiefen der Istprofile
(Maßeinheit: mm, Vertikalvergrößerung: 300-fach)

Modellmaterial	Abformmaterial	Meßstrecke			Prüfkörper
		A	B	C	
Kupfer- galvanisierung	Impregum	20,75	21,88	26,38	1
		40,38	22,63	32,33	2
		21,88	20,88	17,50	3
		34,75	20,00	20,38	4
	Xantopren	23,50	21,50	23,00	1
		25,63	22,63	23,50	2
		24,13	20,88	23,38	3
		24,75	22,75	23,00	4
	Xantugen	37,00	44,50	29,00	1
		40,00	36,25	20,83	2
		20,50	30,25	32,75	3
		24,38	30,00	16,00	4

Tabelle 6: Übersicht über die Rauhtiefenmittelwerte ($\bar{x}_{Rt}$) mit Standardabweichung (s) (Maßeinheit: Mikrometer)

Modellmaterial	Abformmaterial	Meßstrecke					
		A		B		C	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
De Trey's Modell-Zement	Impregum	0,071	0,005	0,065	0,002	0,071	0,003
	Xantopren	0,072	0,002	0,065	0,002	0,068	0,004
	Xantugen	0,072	0,013	0,087	0,031	0,081	0,014
Diemet	Impregum	0,085	0,006	0,072	0,008	0,083	0,007
	Xantopren	0,081	0,007	0,073	0,004	0,084	0,010
	Xantugen	0,083	0,021	0,088	0,027	0,095	0,042
Kerr Vel-Mix Stone	Impregum	0,074	0,005	0,067	0,006	0,076	0,006
	Xantopren	0,070	0,003	0,065	0,003	0,076	0,003
	Xantugen	0,063	0,013	0,064	0,004	0,071	0,007
Kupfer- galvanisierung	Impregum	0,097	0,032	0,070	0,004	0,080	0,022
	Xantopren	0,081	0,003	0,072	0,003	0,077	0,001
	Xantugen	0,101	0,031	0,116	0,022	0,081	0,025

mm

- 69 -

Rauhtiefenmittelwerte ($\bar{x}$) mit Standardabweichung (s) der Modelle aus De Trey's Modell-Zement nach Abformung mit

Impregum, Xantopren, Xantugen:

 $\bar{x}$ s

Rauhtiefe des Originals: -----

0,15

0,14

0,13

0,12

0,11

0,10

0,09

0,08

0,07

0,06

0,05

A

B

C

Meßstrecke

mm

- 70 -

Rauhtiefenmittelwerte ($\bar{x}$) mit Standardabweichung (s) der Modelle aus Diemet nach Abformung mit

Impregum, Xantopren, Xantugen:



Rauhtiefe des Originals: - - - - -

0,15

0,14

0,13

0,12

0,11

0,10

0,09

0,08

0,07

0,06

0,05

A

B

C

Meßstrecke

mm

- 71 -

Bauhtiefenmittelwerte ($\bar{x}$) mit Standardabweichung (s) der Modelle aus Kerr Vel-Mix Stone nach Abformung mit

Impregum, Xantopren, Xantugen:


 $\bar{x}$


Bauhtiefe des Originals:-----

0,12

0,11

0,10

0,09

0,08

0,07

0,06

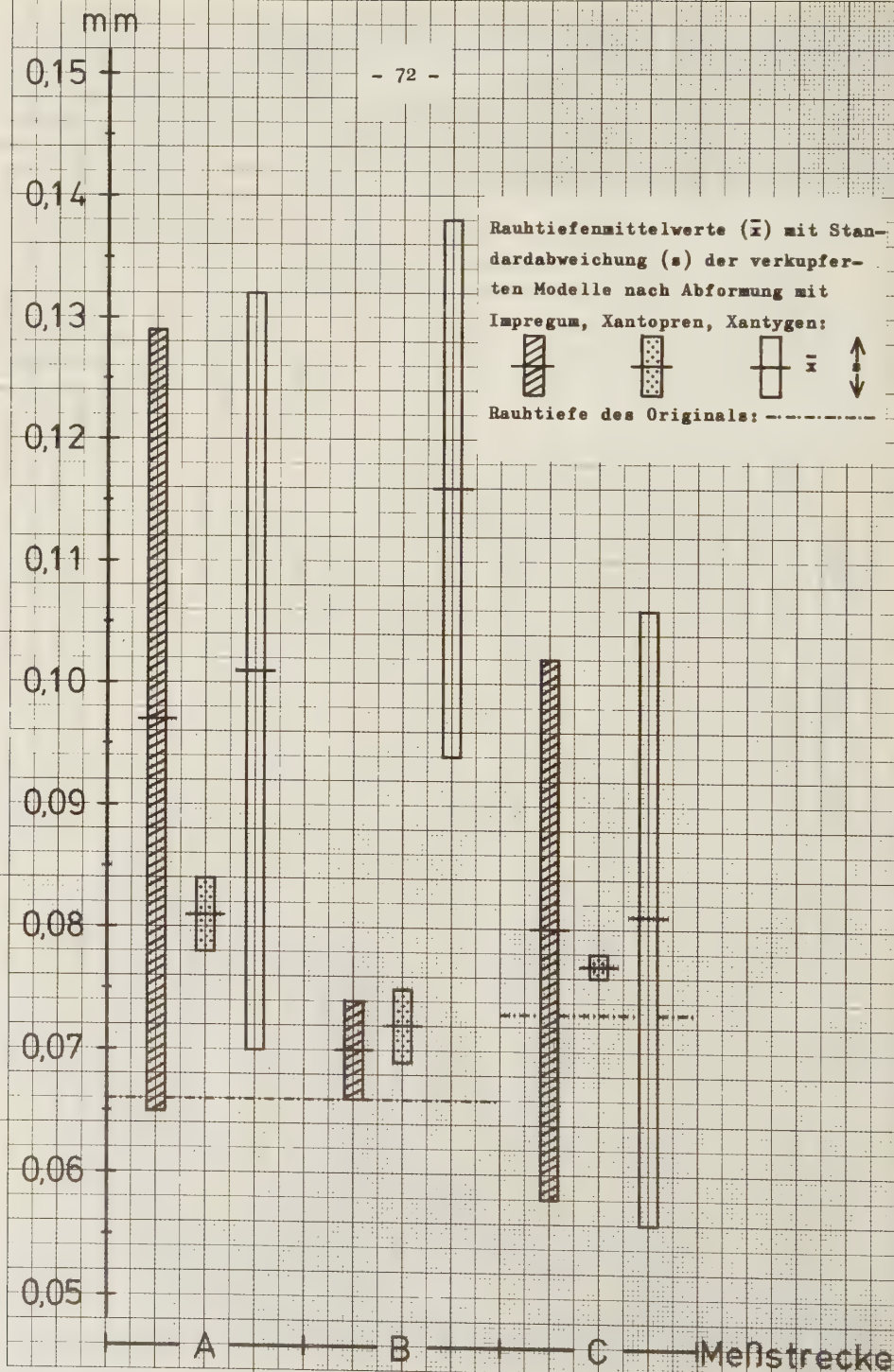
0,05

A

B

C

Meßstrecke



8. Diskussion:

8.1. Besprechung der eigenen Ergebnisse:

Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, daß die Oberflächen-gestalt eines beschliffenen Zahnstumpfes je nach Wahl der Abform- und Modellmaterialien mit sehr unterschiedlicher Genauigkeit auf die Arbeitsmodelle übertragen wird.

Die besten Ergebnisse wurden mit verkupferten Xantopren-Abdrücken erzielt; ihre Reproduktion war nahezu vollkommen. Weiterhin zeichnete sich Xantopren kombiniert mit De Trey's Modell-Zement aus. Abgesehen von geringfügigen Mängeln in der Tiefenschärfe, Feinheitenwiedergabe und Oberflächenglätte lieferten die mit Impregum und Modellzement hergestellten Prüflinge ebenfalls gute Ergebnisse. Alle anderen Materialkombinationen konnten nicht mit den drei genannten konkurrieren.

Die schlechteste Oberflächenreproduktion war eindeutig den mittels Xantogen angefertigten Modellen beizumessen. Als Ursachen müssen die Rauheit der Zahnoberfläche und die Starrheit der Kompositionsmasse angeführt werden. Es ließ sich kein Abdruck vom Prüfkörper herunternehmen, ohne daß an den Unterschnitten Teile des Abformmaterials abrissen. Das führte bei den Modellen zu einer erheblich vom Original abweichenden Oberflächengestalt. Die meisten Profilschnitte zeigten stark abgeflachte und deformierte Rillen. Als Folge der im Abdruck negativ entstandenen Fehlstellen waren dem ursprünglich ebenen Oberflächenniveau des Originals zahlreiche Erhöhungen und Übersichtungen aufgesetzt.

Auch die geringere Qualität der Modelle aus Kerr Vel-Mix Stone nach Abdrücken mit Impregum und Xantopren beruhte auf einem der beteiligten Materialien. Die Kristallstruktur des Gipses sowie die werkstoff- und herstellungsbedingte Hohlraumbildung durch interkristallines Wasser und Lufteinschlüsse erklären den unruhigen

Verlauf der Profilkurven. Eine große Anzahl der Hohlräume wurde von der Oberfläche zu Poren angeschnitten. Die kleinsten sind dem Austritt des nicht gebundenen Wassers anzulasten, die größten müssen als Luftblasen angesehen werden.

Bei allen übrigen Modellen besteht Grund zur Annahme, daß die ungenaue Wiedergabe durch das Zusammenwirken beider beteiligten Werkstoffe verursacht wurde.

So sind die gezackten Profilogramme der mit Diemet ausgefüllten elastischen Abdrücke wahrscheinlich auf eine mangelhafte Verträglichkeit der Materialien zurückzuführen. Diese Vermutung liegt nahe, weil beim Entfernen der Stümpfe aus den Abdrücken stellenweise hauchdünne Filme des Modellmaterials am Abformmaterial haften blieben. Gleiches kann man von Xantynen und Diemet nicht berichten. Ihre Grenzflächen verhielten sich neutral zueinander. Mit Ausnahme der Fehlstellen, die im Zuge der Abdrucknahme entstanden, hinterließ die Oberfläche einen sichtbar glatteren Eindruck.

Die deutliche Differenz zwischen den verkupferten Xantopren- und Impregum-Abdrücken kam nach Beobachtungen während der Modellherstellung nicht unerwartet zustande. Das Reinigen der Impregum-Abdrücke verursachte mit bloßem Auge erkennbare Beschädigungen. Sie lagen überwiegend auf den Leisten, die im Abdrucknegativ die Rillen verkörperten. Damit die Graphitpaste an der Abformmasse haften blieb, mußte sie einmassiert werden. Das Auftragen der Paste und nicht abwischbare Graphitreste auf der galvanisierten Kupferoberfläche trugen sicherlich zur minderwertigen Reproduktion bei.

Die Hartgipsmodelle nach Xantynen-Abformung lagen in bezug auf die Oberflächenglätte noch ungünstiger als die anderen Hartgipsstümpfe. Als Ursache kommt das Reinigen der Modelle von Komposi-

tionsmassen infrage. So gesehen müssen an der Verträglichkeit der Materialien geringfügige Abstriche vorgenommen werden.

Es läßt sich anhand der Profilkurven nicht nachweisen, ob außer den erwähnten Faktoren noch andere am Zustandekommen der negativen Ergebnisse mitgewirkt haben. Denkbar wären im Falle der Abformmaterialien Verzerrungen als Folge der ungleichmäßigen Schichtdicke und des behinderten Schrumpfungsprozesses. Ferner käme die Deformation der elastischen Massen in Betracht; hier müßten mehrere Fehlerquellen angeführt werden, z.B. Abformung bei zu weit fortgeschrittener Abbindephase, zu große Druckausübung während des Abbindens, Zug- und Druckbeanspruchungen beim Abziehen, "Stopfen" der Abdrücke mit Modellzement, das Gewicht der Modellmaterialien, insbesondere des schweren, metallhaltigen Kunststoffes. Außerdem wäre das verdrängende Volumenverhalten des Hartgipses zu nennen.

Die aufgezählten Faktoren haben sich nicht in den Ergebnissen niedergeschlagen, zumindest nicht in einem vom Profilographen erfaßbaren Umfang.

In diesem Zusammenhang muß das hervorragende Abschneiden der Modellzementstümpfe nach elastischen Abformungen besonders beachtet werden. Aus der Sicht der Oberflächenreproduktion findet man keinen Anhaltspunkt dafür, daß das "Stopfen" der Abdrücke deformierte Modelle bedingt.

Die Bedeutung der statistischen Auswertung für die Beurteilung des Reproduktionsvermögens der untersuchten Materialien darf nicht überbewertet werden. Die Aussagekraft der Rauhtiefen über die Oberflächengestalt ist im Vergleich zu den Profilkurven äußerst schwach. Sie repräsentieren nur die Tiefe der Rillen; über das Rillenprofil erfährt man gar nichts. Das Beispiel der Materialkombinationen Xantopren mit Kerr Vel-Mix Stone bzw. mit De Trey's Modell-Zement unterstreicht das besonders augenfällig: Im Bereich

der Meßstrecke B weisen beide denselben Rauhtiefenmittelwert $\bar{x}_{Rt}$ auf, und die Standardabweichung s differiert nur geringfügig (s. graphische Darstellungen auf S. 69 und S. 71). Dagegen unterscheiden sich die Istprofile hinsichtlich der Feinheitenwiedergabe und der Oberflächenglätte beträchtlich (Abb. 10b und 14b).

Dennoch läßt sich sagen, daß im großen und ganzen die Ergebnisse des optisch-qualitativen Vergleichs durch die Berechnung der Rauhtiefenmittelwerte $\bar{x}_{Rt}$ und der Standardabweichung s bestätigt werden.

Eine direkte Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse mit denen anderer Arbeiten ist nicht möglich. Einerseits liegen nicht von allen Materialien Untersuchungen über das Reproduktionsvermögen vor, andererseits konzentrierten sich die Versuche entweder auf das eine oder auf das andere Material. Des weiteren wird ein Vergleich durch die verschiedenartigen Testkörper erschwert, zumal die Materialproben anscheinend immer als Abformung einer Oberfläche ohne Unterschnitte genommen werden. In dieser Arbeit sollten jedoch die Materialien unter Versuchsbedingungen geprüft werden, die sich eng an die Gegebenheiten der Abformung und Modellherstellung hielten. Auf diese Weise sollte die Voraussetzung geschaffen werden, eine aufschlußreiche Beziehung zwischen den werkstoffkundlichen Experimenten und dem Verhalten bei der praktischen Anwendung knüpfen zu können.

8.2. Kritik der eigenen Methode:

Die Versuchsmethode enthielt einige Unsicherheitsfaktoren, die vor allem der praxisbezogenen Modellgewinnung zuzuschreiben sind. Um diese möglichst auszuschalten und um optimale Ergebnisse zu erzielen, wurden die Herstellervorschriften und werkstoffkundlichen Verarbeitungshinweise in der zahnärztlichen Literatur weitestgehend respektiert.

Mischungsverhältnisse sowie Anmisch-, Verarbeitungs- und Abbindezeiten konnten relativ einfach eingehalten werden. Dagegen war das Anmengen der Massen mit konstanter Intensität zu homogenen Mischungen weitaus schwieriger. Besondere Aufmerksamkeit verlangte die Homogenität der elastischen Abformmaterialien. Die thermoplastischen Massen waren sicherlich beim Erweichen über der offenen Flamme ungleichen Temperaturen ausgesetzt. Eine einheitliche Verarbeitungstemperatur hätte mit einem temperaturkonstanten Wasserbad gewährleistet werden können. Es bliebe aber die Frage, ob sich die Methode nicht zu weit von der in Wirklichkeit praktizierten entfernt hätte. Ferner konnten gleichbleibende Druckverhältnisse während der Abformung nicht garantiert werden.

Ein Anspruch auf völlige Anpassung der Versuchsbedingungen an die praktischen Gegebenheiten kann nicht erhoben werden. Die Einflüsse der Mundtemperatur und des Speichels auf das Reproduktionsvermögen der Abformmassen blieben unbeachtet.

Von der Nachahmung der intraoralen Verhältnisse wurde nicht ohne Grund abgesehen. Bei Versuchen zur Methodik wurden Abdrücke zum Abbinden in ein Wasserbad* von ca. 37°C gelegt. Den Profilbildern dieser Abdrücke sind gegenüber den bei ca. 21°C erhärteten Abdrücken keine Veränderungen zu entnehmen. Im Interesse einheitlicher Bedingungen für alle Abformungen wurde mit einem trockenen und sauberen Prüfkörper gearbeitet; von Speichel überzogene hätten das stetige Erfassen vergleichbarer Profilschnitte infrage gestellt. Die klinische Forderung, Zahnstümpfe vor der Abformung zu trocknen, rechtfertigte dieses Vorgehen.

Gegen die Eignung des Profilographen für die Ausmessungen können nach der Untersuchung von KREBS und MARX (14) im großen und ganzen keine Einwände erhoben werden. Allerdings stellten sich gewisse Mängel heraus.

Wie Vergleichsmessungen am Rauhnormals zeigten, war die Vorschub-

* Miniwasserbad, Fa. Juchheim, Seelbach

geschwindigkeit des Registrierstreifens Schwankungen unterworfen, was zu verschiedenen langen Profilkurven führte. Sie waren aber mit einer Abweichung von $\pm 2,5\%$ so gering, daß sie beim optisch-qualitativen Vergleich der Kurven vernachlässigt werden konnten.

Auf die Angabe der abgelesenen Rauhtiefen wurde verzichtet, weil sie minimale Rauheitsdifferenzen bei weitem nicht so eindrucksvoll dokumentierten wie die Profilbilder. Die Instrumentenskala war in dem gewählten Meßbereich überfordert. Lediglich die Rauhtiefen der Modelle nach Xantegen-Abdrücken hoben sich deutlich von denen des Originals ab.

Das Einstjustieren der Prüfflächen erwies sich als sehr problematisch, konnte jedoch durch eine äußerst feinfühligte Handhabung erreicht werden. Dabei halfen eine Libelle und die Einstellvorrichtung des Profilographen.

In diesem Zusammenhang ist die Form des Prüfkörpers zu sehen. Die plane Fläche und der geordnet-rillige Oberflächencharakter sollten neben dem Einstjustieren sicherstellen, daß stets reproduzierbare Meßstrecken abgetastet wurden. Dafür mußte als Nachteil eine Prüffläche in Kauf genommen werden, deren Oberflächengestalt nur annähernd mit der eines beschliffenen Zahnes vergleichbar ist.

8.3. Schlußbetrachtung:

Bei der Herstellung von festsitzendem Zahnersatz sind eine Reihe von praktischen Arbeitsgängen miteinander verbunden: Präparation, Abformung, Modellherstellung, Wachsmodellation, Einbetten, Guß und schließlich Einzementieren. Die Methodik und die Materialien der einzelnen Arbeitsphasen beinhalten eine Anzahl von Faktoren, die die Paßgenauigkeit der Kronen und Brücken beeinflussen.

Diese Untersuchung erfaßt zwei entscheidende Arbeitsgänge. REHBERG (25) bezeichnet die Abformung als "sicherlich wichtigsten Schritt",

und MARKKORS (16) nennt das Arbeitsmodell "den Schlüssel zum Erfolg". Als Ergebnis dieser Arbeit ist festzuhalten, daß sich mit einigen der zur Zeit gebräuchlichen Abform- und Modellmaterialien die Oberflächengestalt eines präparierten Zahnstumpfes äußerst präzise auf ein Arbeitsmodell übertragen läßt.

Auf die nicht minder bedeutende Frage der Modellgewinnung nach der Volumenkonstanz von Original und Modell geben die Versuche keine hinreichende Antwort. Der Überprüfung des Volumenverhaltens dentaler Werkstoffe widmeten sich zahlreiche Autoren. So findet man in der Literatur auch über die hier untersuchten Materialien entsprechende Angaben (9, 12, 18, 29).

9. Zusammenfassung:

Das Reproduktionsvermögen einiger, in der Zahnheilkunde verwendeter Abform- und Modellmaterialien wurde geprüft. Die Untersuchung erfolgte an Modellen, die über Abformung von einem Original gewonnen wurden.

Als Original diente ein Stumpf aus natürlicher Zahnhartsubstanz. Seine Oberfläche verfügte über eine Rauheit, wie sie nach Präparation mit zahnärztlichen, umlaufenden Instrumenten auftritt. Die Abformung lehnte sich eng an das Ring-Abdruck-Verfahren an.

Ein Tastschnittgerät erfaßte Oberflächenausschnitte des Prüfkörpers und der Prüflinge als Profilkurven, die subjektiv durch einen optisch-qualitativen Vergleich und objektiv durch eine statistische Auswertung beurteilt wurden. Fotografische Vergrößerungen zeigen die Oberflächengestalt der Prüffläche als ganzes.

Die besten Ergebnisse wurden mit kupfergalvanisierten Modellen und solchen aus De Trey's Modell-Zement nach Xantopren-Abformung erzielt. Die Oberflächengestalt wurde nahezu originalgetreu reproduziert. Mit geringfügigen Abstrichen gilt das auch für die Materialkombination Impregum und De Trey's Modell-Zement. Ferner sind nach Impregum- und Xantopren-Abformung hergestellte Modelle aus Kerr Vel-Mix Stone hervorzuheben. Hinsichtlich der Rauhtiefe lassen sie sich mit den o.a. messen. Dagegen weist die Detailreproduktion Mängel auf. Modelle aus Diemet schneiden schlechter ab. Als Ursache kommt eine Reaktion zwischen Modell- und Abformmaterial infrage. Die verkupferten Impregum-Abdrücke waren wegen eines unvollständigen Metallniederschlages nicht als Modelle geeignet. Die nach Xantogen-Abformung angefertigten Modelle brachten die schlechtesten Ergebnisse.

10. Literaturverzeichnis:

1. ADA-Spezifikation Nr. 19 für elastomeres
Abdruckmaterial
American Dental Association, Chicago, Illinois,
USA 1967
2. BUTZ, R.
Prüfung der Druckelastizität elastomerer
Abformmassen in der Zahnheilkunde
Med. Diss. Bonn 1970
3. EICHNER, K.
Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und
Schleifen von Zahnhartsubstanzen
München 1966
4. EICHNER, K.
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
ihrer Verarbeitung
Berlin 1967
5. FINGER, W.
Werkstoffkundliche Untersuchungen an neuen
Modellmaterialien
Zahnärztl. Welt 81 (1972), S. 747 - 751
6. FÜRER, C.
Vergleichende Untersuchungen über Porosität, Ober-
flächenrauhigkeit und Kristallaufbau von Hartgips-
und Einbettmassemodellen hergestellt nach dem Zentri-
fugier- und nach dem Einrüttelverfahren
Med. Diss. Marburg 1966
7. FUHR, K.
Zur Präparationstechnik in der
Kronen- und Brückenprothetik
Dtsch. zahnärztl. Z. 21 (1966), S. 911 - 916

8. FUHR, K.
Messungen der Strukturvarianten an Zahnoberflächen
Dtsch. zahnärztl. Z. 23 (1968), S. 178 - 190
9. GARDEMIN, U.
Über das Volumenverhalten von Hartgipsen und
Modellzementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 24 (1969), S. 539 - 544
10. GÄRTNER, D.
Vergleichende Untersuchungen zum Bohren
und Schleifen mit höchsten Drehzahlen
in EICHNER, K. (3.)
Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und
Schleifen von Zahnhartsubstanzen
München 1966
11. GODT, H.
Über Korngröße und Filmdicke verschiedener
Phosphatzemente
Dtsch. zahnärztl. Z. 18 (1963), S. 491 - 495
12. HOFMANN, M.
Die Abformung des Kronenstumpfes und das
Arbeitsmodell
Dtsch. zahnärztl. Z. 22 (1967), S. 1288 - 1295
13. KÖRBER, E.
Gips
in EICHNER, K. (4.)
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
ihrer Verarbeitung
Berlin 1967
14. KREBS, R. und H. MARX
Meßtechnische Probleme der Oberflächenreproduktion
von Abformmaterialien
Dtsch. zahnärztl. Z. 27 (1972), S. 610 - 615

15. LINKE, S.
Untersuchungen von Kavitätenrändern, die mit Schleifkörpern in verschiedenen Drehzahlbereichen bearbeitet wurden
in EICHNER, K. (3.)
Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen
München 1966
16. MARXKORS, R.
Werkstoffe in der zahnärztlichen Praxis
Frankfurt a.M. 1972
17. MEINERS, H.
Einige grundsätzliche Betrachtungen über Volumeneffekte im Zusammenhang mit Abbindevorgängen
Zahnärztl. Welt 82 (1973), S. 270 - 275
18. MEISNER, E.J.G.
Eine vergleichende Untersuchung über Abform- und Modellmaterialien zur Herstellung von Vollgußkronen
Med. Diss. Erlangen - Nürnberg 1966
19. MEYER, H. und H. UHLIG
Über die sogenannte Abdruckschärfe
Dtsch. zahnärztl. Z. 12 (1957), S. 1544 - 1547
20. NEWMAN, A. und J.D. WILLIAMS
Die Materials for Inlay, Crown and Bridge Work
Brit. dent. J. 127 (1969), S. 415 - 420
21. ONTRUP, D.
Die Oberflächengestalt der Zahnhartsubstanzen nach der Bearbeitung mit umlaufenden Instrumenten
in EICHNER, K. (3.)
Normal-, hoch- und höchsttouriges Bohren und Schleifen von Zahnhartsubstanzen
München 1966

22. PANTKE, H.
Vergleichende Untersuchungen der Oberflächenstruktur
von mit Diamantschleifkörpern bearbeiteten Kavitäten-
wänden
Zahnärztl. Welt 64 (1963), S. 526 - 529
23. PANTKE, H. und U. HERRNSDORF
Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit
von Duroc- und Glastone-Modellen
Dtsch. Zahnärztebl. 21 (1967), S. 132 - 134
24. REHBERG, H.J.
Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und klinischer
Anwendung elastomerer Abformmassen
Dtsch. Zahnärztebl. 23 (1969), S. 61 - 67
25. REHBERG, H.J.
Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel
Berlin 1971
26. RITZE, H.
Elastische Abdruckmaterialien für Kronen- und
Brückenarbeiten
Zahnärztl. Welt 66 (1965), S. 156 - 160
27. SCHWINDLING, R.
Abformwerkstoffe
in EICHNER, K. (4.)
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
ihrer Verarbeitung
Berlin 1967
28. SCHWINDLING, R.
Modellwerkstoffe
in EICHNER, K. (4.)
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und
ihrer Verarbeitung
Berlin 1967

29. SCHWINDLING, R.

Spezielle Abdruckmethoden für
Kronen- und Brückenersatz
Zahnärztl. Mitt. 58 (1968), S. 224 - 235

30. WEIKART, P.

Werkstoffkunde für Zahnärzte
München 1966

31. WILHELM, W.

Vergleichende Untersuchungen über die mittels
verschiedener Abdruckmaterialien hergestellten
Oberflächengestalten
Med. Diss. Mainz 1970

Deutsche Normen:

- DIN 4760: Begriffe für die Gestalt von
Oberflächen
Deutscher Normenausschuß, Berlin 1960
- DIN 4761: Begriffe, Benennungen und
Kurzzeichen für den Oberflächencharakter
Deutscher Normenausschuß, Berlin 1960
- DIN 4762 (Blatt 1): Erfassung der Gestaltab-
weichungen 2. bis 5. Ordnung an Oberflächen
an Hand von Oberflächenschnitten
Deutscher Normenausschuß, Berlin 1960

Gebrauchsanleitungen:

- Impregum, Fa. Espe, Seefeld 1971
- Xantopren, Präzisions-Abformmassen,
Fa. Bayer, Leverkusen
- Xantygen, Thermoplastische Abdruckmasse,
Fa. Bayer, Leverkusen
- De Trey's Modell-Zement, De Trey GmbH, Waldshut
- Diemet, Schnell-Präzisions-Stumpfmasse mit aus-
geprägtem Metallcharakter
Fa. Erkodent, Pfalzgrafenweiler

- herr Vel-Mix Stone, Fa. Kerr, USA
- Bedienungsanleitung zum Profilographen Typ 5815
Institut Dr. Förster, Reutlingen 1966
- Galvanisieranleitung
FD Frankonia Dental GmbH & Co KG, Erlangen

Lebenslauf

Am 02.09.1944 wurde ich als Sohn der Eheleute Karl und Margaretha Hofmann, geb. Eden, in Bergen auf Rügen geboren.

Im November 1945 ließen sich meine Eltern scheiden. Das Sorgerecht für mich wurde meiner Mutter zugesprochen. Ein halbes Jahr später heiratete sie den Studenten der Rechtswissenschaft Hugo Römeth. Seit dem 13.02.1956 führe ich offiziell den Familiennamen Römeth.

Im Alter von siebeneinhalb Jahren wurde ich in Kiel ersteingeschult. Von 1953 bis 1956 besuchte ich in Düsseldorf-Gerresheim eine evangelische Volksschule und anschließend den mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig des Städtischen Gymnasiums. Am 16.02.1966 legte ich mit Erfolg die Reifeprüfung ab.

Nach zweijährigem Militärdienst nahm ich zum Wintersemester 1968/69 das Studium der Zahnmedizin an der Universität Mainz auf. Die klinischen Semester schloß ich im November 1973 mit Bestehen der zahnärztlichen Prüfung ab.

Seit Januar 1974 bin ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik in Mainz angestellt.

Herrn Professor Dr. K. Fuhr spreche ich für die Überlassung des
Themas sowie für zahlreiche Hinweise und Anregungen meinen Dank
aus.

Ebenso danke ich Herrn Dipl. Mathematiker Wetter für die Beratung
während meiner Arbeit im Institut für Medizinische Statistik und
Dokumentation und Fräulein Birnbaum für die Unterstützung bei der
Herstellung der Fotos.

